

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MOBILNÍ ROBOT MICROMOUSE II

MICROMOUSE II MOBILE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. MARTIN PAVLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.

BRNO 2011

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

(na místo tohoto listu vložte originál a nebo kopii zadání Vaší práce)

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací mobilního robota kategorie IEEE Micromouse. Cílem je sestavit funkční konstrukci robota použitelného pro účely testování metod mapování a lokalizace.

Práce se dále zabývá návrhem elektroniky pro řízení pohonů. Návrhem elektroniky optických senzorů, pracujících na principu odrazu infračerveného světla a zpracování jejich signálu.

ABSTRACT

This thesis describes the design and implementation of mobile robot IEEE Micromouse category. The aim is to build a functional design of robot usable to testing methods of mapping and localization.

The thesis also deals with the design of electronics for motion control. Electronic design of optical sensors operating on the principle of reflection of infrared light and the signal processing.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, Micromouse, Senzor

KEYWORDS

Robot, Micromouse, Sensor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

PAVLÁČEK, M. *Mobilní robot Micromouse II*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Mobilní robot Micromouse II*, vypracoval samostatně bez cizí pomoci, na základě rad a pokynů vedoucího diplomové práce. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a uvedených literárních zdrojů.

.....
Bc. Martin Pavláček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především vedoucímu mé práce panu Ing. Tomáši Maradovi Ph.D. za podnětné rady, které mi poskytl v průběhu mé práce.

Obsah:

	Zadání závěrečné práce.....	3
	Abstrakt.....	5
	Bibliografická citace:.....	7
	Čestné prohlášení:.....	9
	Poděkování	11
1	Úvod.....	15
1.1	Cíle práce.....	15
1.2	O soutěži Micromouse.....	16
1.3	Pravidla soutěže.....	16
2	Robot Micromouse I.....	19
2.1	Architektura robota.....	19
2.2	Řídící systém.....	20
2.2.1	Hlavní řídicí modul.....	20
2.2.2	Modul řízení pohonů.....	20
2.2.3	Modul sensoriky.....	21
2.3	Souhrnné parametry robota Micromouse I.....	22
3	Současné konstrukce robotů Micromouse ve světě.....	23
3.1	Robot DECIMUS.....	23
3.2	Robot MIN.....	24
4	Rozbor nové konstrukce robota.....	25
4.1	Mechanická konstrukce robota.....	25
4.1.1	Diferenciální podvozek robota.....	25
4.2	Pohon robota.....	27
4.2.1	Stejnoseměrné motory.....	27
4.2.2	Princip stejnosměrných motorů s permanentními magnety.....	29
4.2.3	Řízení otáček stejnosměrného motoru.....	31
4.2.4	Snímání polohy motoru.....	34
4.3	Optické senzory překážek.....	35
4.3.1	Rozmístění senzorů.....	35
4.3.2	Použité optické senzory.....	36
4.3.3	Princip emitování silného pulzu snímače.....	36
4.3.4	Snímání světelného odrazu.....	37
4.4	Gyroskop a akcelerometr.....	39
4.4.1	Gyroskop.....	39
4.4.2	Akcelorometr.....	40
4.5	Požadavky na řídicí mikrokontrolér robota.....	41
4.6	Bezdrátová komunikace robota.....	42
5	Realizace robota.....	43
5.1	Napájení robota.....	44
5.1.1	Akumulátor	44
5.1.2	Napájecí obvody.....	45
5.2	Blok řídicího procesoru.....	47
5.2.1	Mikrokontrolér Xmega128A1.....	47
5.2.2	Zapojení řídicího procesoru.....	48
5.3	Elektronika pro řízení pohonů.....	49
5.3.1	Pohon kola.....	49
5.3.2	Zapojení H-můstku.....	50
5.4	Blok elektroniky optických senzorů.....	52

5.4.1	Zapojení infračervených diod.....	52
5.4.2	Zapojení detekčních fototranzistorů.....	53
5.5	Zapojení gyroskopu a akcelerometru.....	54
5.5.1	Gyroskop.....	55
5.6	Ovládací prvky robota.....	56
5.7	Externí modul.....	57
5.7.1	Modul pro bezdrátovou komunikaci.....	58
5.8	Návrh desky plošných spojů.....	59
6	Otestování funkčnosti robota.....	61
6.1	Programování robota.....	61
6.2	Funkce testovacího softwaru robota.....	62
6.2.1	Nastavení komunikace s robotem.....	62
6.2.2	Testování senzorů.....	62
6.2.3	Testování pohonů a gyroskopu.....	67
6.3	Parametry robota.....	68
7	Závěr.....	71
8	Seznam použité literatury.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:.....	75
	SEZNAM PŘÍLOH:.....	77
	Přílohy:.....	79

1 ÚVOD

Pro účely testování metod mapování, lokalizace a ověřování algoritmů umělé inteligence je v laboratoři A1/731a umístěn mobilní robot Micromouse I. Ten se dá úspěšně využít například v soutěži mobilních robotů kategorie Micromouse. Stávající konstrukce robotu je v současnosti již nevyhovující. Cílem této práce je vylepšení stávající mechanické konstrukce, návrh senzorů, řízení pohonů, atd..

1.1 Cíle práce

Práce si klade za cíle:

- Seznámit se se stávající konstrukcí mobilního robota Micromouse I a s jeho plánovaným využitím
- Seznámit se s úspěšnými konstrukcemi robotů Micromouse na internetu
- Na základě získaných informací navrhnout vylepšení stávající konstrukce
- Navržené vylepšení realizovat a otestovat

1.2 O soutěži Micromouse

Jedná se o soutěž autonomních mobilních robotů kategorie IEEE Micromouse. Tato soutěž byla poprvé uskutečněna v roce 1970 a od tohoto roku se pořádá každoroční mezinárodní utkání. Soutěžící roboti se pohybují v bludišti, které je jim dopředu neznámé a mají za úkol nalézt cestu z určeného startu do určeného cíle v bludišti za co nejkratší čas. Parametry bludiště a robotů jsou dány pravidly soutěže.

1.3 Pravidla soutěže

Úkolem robota je nalézt cestu bludištěm k cíli za co nejkratší čas. Měří se nejen čas při hledání cesty, ale také čas, za který se robot dokáže přesunout ze startovní pozice do cíle při prohledaném bludišti.

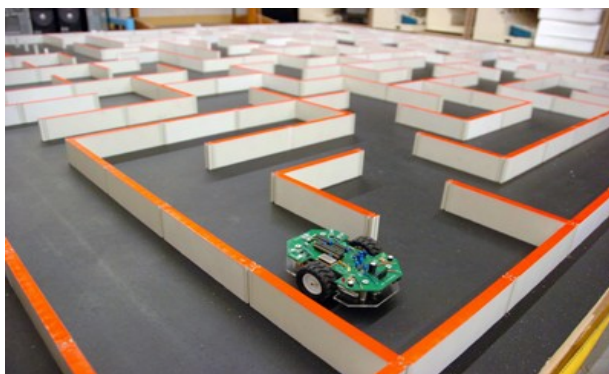
Parametry bludiště

Bludiště je sestaveno ze základních čtverců o velikosti 18 x 18cm. Jeho maximální rozměr je omezen na pole 16 x 16 těchto čtverců. Stěny bludiště jsou 5 cm vysoké a 1,2 cm tlusté. Povolena odchylka rozměrů je $\pm 5\%$. Vnější stěny uzavírají bludiště ze všech stran. Celkové rozměry bludiště musí splňovat toleranci 5% nebo 2mm. Vždy menší z obou hodnot. Mezery mezi stěnami nesmí být větší než 2mm.

Boční strany stěn bludiště jsou bílé a horní červené. Stěny jsou vyrobeny ze dřeva a natřeny matnou barvou tak, aby odrážely infračervené světlo. Podlaha je natřena černou matnou barvou, která by naopak měla infračervené světlo pohlcovat. Stejnorodost barvy bludiště se může lišit při kombinaci nových a starších dílů bludiště. Podlaha může obsahovat malé výškové nesrovnalosti, protože je sestavena z překližek. Také třecí vlastnosti podlahy nejsou zaručeny. Spoje v podlaze nesmí tvořit schůdky větší, než 1mm.

Start se v bludišti nachází vždy v jednom ze čtyř rohů bludiště a má rozměr jednoho pole bludiště. Startovní čára tvoří předěl mezi startovním a druhým polem bludiště. Startovní pole je vždy obezděno ze tří stran. Ve chvíli, kdy myš překryje startovní čáru, je spuštěno měření času. Cíl se nachází ve středu pole a je sestaven ze čtyř základních čtverců, do kterých existuje pouze jeden vchod. Uprostřed čtyř cílových čtverců je umístěn praporek o výšce 20cm a stranách 2,5cm. Tento praporek však může být na požádání odstraněn. K cíli obvykle vede více cest.

V rozích čtverců jsou značky 1,2 x 1,2cm široké, které tvoří takzvané mřížkové body. Z těchto bodů musí vycházet nejméně jedna stěna.



Obr. 1 Bludiště

Parametry robota

Robot musí být autonomní a nesmí být žádným způsobem dálkově ovládán. Zdroj energie robota nesmí využívat spalovací proces.

Všechny části robota musí být napájeny napětím do 24V a celková spotřeba nesmí překračovat 20A. Vyjimky z tohoto pravidla povoluje porota.

Počet ani typ senzorů robota není omezen a nejsou na ně kladena žádná specifická omezení, pokud nejsou v rozporu s jinými pravidly. Pro zlepšení navigace není povoleno používat žádné další pomůcky umístěné mimo robota.

Maximální rozměr robota může být 25cm do šířky a neomezeně do výšky. Robota během cesty bludištěm nesmí cokoliv odhodit ani ztratit, může však měnit rozměr, pokud nejsou v rozporu s maximálními rozměry. Nesmí skákat, překračovat nebo lézt po stěnách bludiště. Bludiště nesmí být robotem úmyslně poškozeno nebo ničeno.

Hodnocení v soutěži

Každý soutěžící má vyhrazený čas 10 minut, který může strávit v bludišti. Každý zásah do robota, je počítán do těchto deseti minut. Během těchto deseti minut může robot uskutečnit opakovaně pokus o dosažení cíle. Měří se vždy jednotlivé časy pokusů od startu k cíli. Pokus uskutečněný za nejmenší čas je pak započítán, jako oficiální. Jako první se umístí roboti s nejkratším časem za pokus dosáhnout cíle. Pokud myš cíle nedosáhne v žádném z pokusů, počítá se čas za který projela myš nejvíce základních čtverců bludiště bez dotknutí. Myši, které cíle dosáhnou, jsou v hodnocení zařazeny výše, než ty které cíle nedosáhly.

Každý pokus musí být uskutečněn ze startovního pole. Pokud operátor přeruší běh robota během pokusu, považuje se pokus za zrušený. Pokud se operátor během pokusu dotkne je diskvalifikován ze soutěže. Jestliže robot dosáhne cíle, může být kdykoliv odebrán z bludiště bez jakékoli časové penalizace proběhlého pokusu.

Pokud robot během jednoho pokusu cíle nedosáhne, a zapčne další pokus je předchozí pokus považován za zrušený.

Po dosažení cíle může robot dále pokračovat v prohledávání v bludišti po zbytek jeho maximálního času. Pokud takto myš znovu dosáhne startovního pole a opustí jej, je to počítáno jako nový pokus. Tohle pravidlo dovoluje provádět opakované pokusy, bez zásahu operátora.

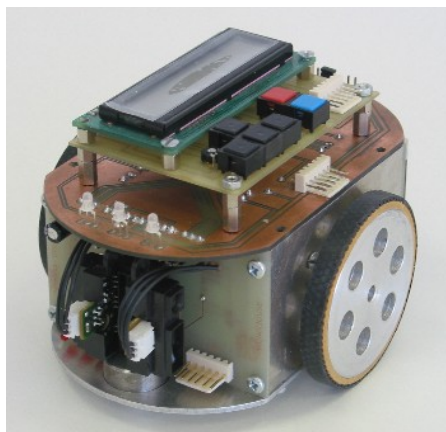
Mezi pokusy není dovoleno jakýmkoliv způsobem doplňovat do robota jakékoliv informace. Možné jsou pouze tyto operace: Výměna baterie, seřízení senzorů, změna rychlosti, oprava a nastavení přepínačů, například pro změnu prohledávacího algoritmu. Po zásahu nesmí být změněna váha robota!

V kapitole bylo čerpáno z [1] a [2].

2 ROBOT MICROMOUSE I

V této kapitole bylo čerpáno z [3].

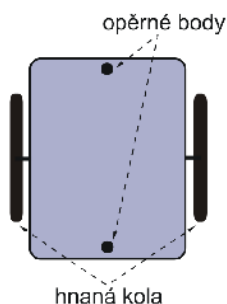
Na fakultě strojní VUT v Brně, ústavu automatizace a informatiky byla vyvinuta verze robota Micromouse I. Tento robot slouží k ověřování metod umělé inteligence a je konstruován, tak aby splňoval podmínky soutěže robotů kategorie IEEE Micromouse.



Obr. 2 Robot Micromouse I vyvinutý na UAI FSI VUT v Brně[3]

2.1 Architektura robota

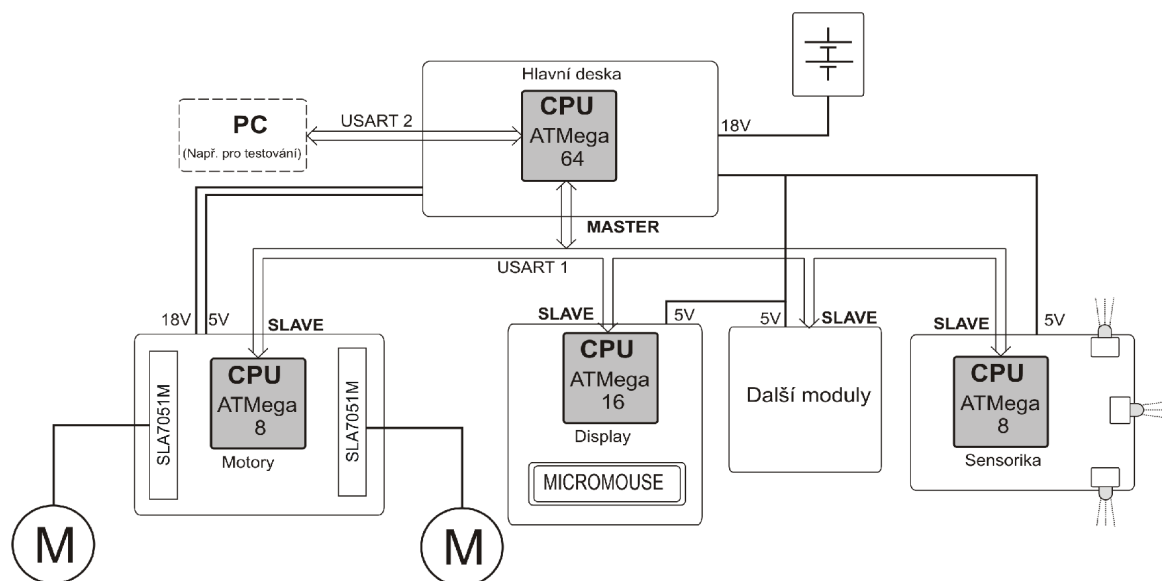
Jedná se o dvoukolového robota postaveném na diferenciálním podvozku. Každé kolo je poháněno zvlášť krokovým motorem. Změna pohybu robota je pak realizována různou rychlostí otáčení kol. Robot je také vybaven kulovými podpěrami, pro udržení stability. Schématicky je tento typ podvozku zobrazen na obrázku Obr. 3. Tělo robota, je postaveno z hliníkové konstrukce, na kterém je umístěno hnací ústrojí a ostatní elektronika, sestavená z několika modulů.



Obr. 3 Schématický náčrt diferenciálního podvozku[3]

2.2 Řídicí systém

Řídicí systém tohoto robota je sestaven z několika nezávislých modulů, které mohou komunikovat po společné sériové sběrnici. Díky sběrnici mohou být na robota přidávány další doplňkové moduly. Základní funkční konstrukci řízení robota tvoří tři moduly. Každý z těchto tří modulů je vybaven vlastním mikrokontrolérem od firmy ATMEL typu ATmega. Schématické propojení modulů je zobrazeno na obrázku Obr. 4. Pro napájení všech modulů jsou použity čtyři články LiIon o celkovém napětí 16,8V, které je rozvedeno z hlavního řídicího modulu, kde je dále stabilizováno na napětí 3V a 5V.



Obr. 4 Blokové schéma propojení modulů robota[3]

2.2.1 Hlavní řídicí modul

Hlavním a řídicím modulem je modul hlavní desky, který jako MASTER řídí tok dat na sběrnici a koordinuje tak ostatní moduly. Dále sbírá data od ostatních modulů a provádí na jejich základě další výpočty a regulace. Výsledky pak dále může posílat zpět modulům. Například akční zásah pro regulaci pohonu. V mikrokontroléru tohoto modulu je také realizován případný algoritmus vyhledávání cesty v bludišti.

2.2.2 Modul řízení pohonů

Tento modul obsahuje elektroniku pro řízení krokových motorů a má na starosti jejich ovládání. Také zpracovává signál z inkrementálních snímačů polohy připevněných na jednotlivých pohonech. Modul neustále vyhodnocuje data z inkrementálních snímačů a připravuje je pro účely výpočtů v hlavním modulu. Dále reaguje na příkazy hlavního modulu pro natočení kol.

2.2.3 Modul senzoričky

Modul senzoričky je jedním z nejdůležitějších modulů pro pohyb robota v neznámém prostředí. Modul je osazen vlastním mikrokontrolérem, který zpracovává signál z elektroniky snímačů. Jako snímače jsou zde použity tři optické snímače GP2D120 od firmy SHARP (viz Obr. 5). Dva z těchto snímačů jsou umístěny po stranách a jeden vpředu robota. Tyto senzory pracují na principu optické triangulace. Infračervené světlo vyslané senzorem je odraženo od překážky a dopadá pod úhlem na PSD detektor snímače. Detekcí úhlu odrazu světelného bodu od překážky je pak vypočtena vzdálenost od měřeného objektu. Výstupní veličinou tohoto senzoru, je napětí, jehož velikost je úměrná vzdálenosti. Tato závislost není lineární. Výhodou tohoto snímače je pak malý rozdíl výstupních hodnot při měření odrazu od tmavé a světlé překážky. Nevýhodou je však relativně pomalá odezva snímače. Některé jeho parametry jsou uvedeny v tabulce Tab.1.



Obr. 5 Senzor GP2D120 od firmy SHARP

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí	1,95 až 2,55V
Pracovní teplota	-10 až +60°C
Rozsah měřené vzdálenosti	4 až 30cm
Doba měření	38,3±9,6ms

Tab.1 Vybrané vlastnosti senzoru GP2D120

2.3 Souhrné parametry robota Micromouse I

Parametry jsou přehledně zobrazeny v tabulce Tab.2.

Parametr	Hodnota
Podvozek	Diferenciální podvozek
	Dvě hnaná kola
	Dvě podpěry
Pohony	2x krokový motor TEAC KP39HM2-025
Senzory	3x senzor SHARP GP2D120
Napájení	4x akumulátor LiIon CGR18650/4,2V
Komunikace	2x RS232-TTL-38400Bd
Délka	130mm
Šířka	105mm
Výška	80mm
Rozteč kol	95mm
Hmotnost	990g

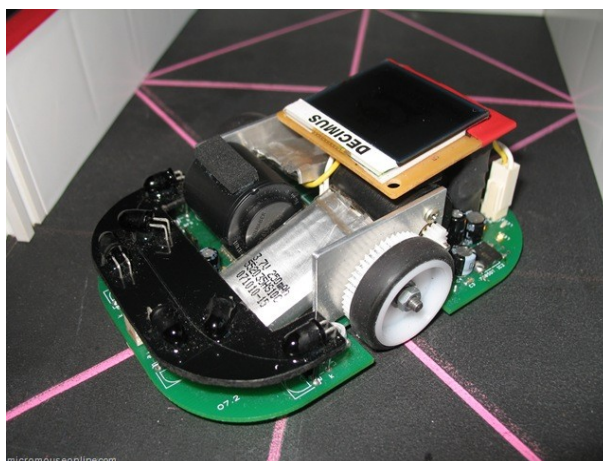
Tab.2 Parametry robota Micromouse I

3 SOUČASNÉ KONSTRUKCE ROBOTŮ MICROMOUSE VE SVĚTĚ

Současné konstrukce robotů kategorie IEEE Micromouse jsou povětšinou založeny na minimalistických konstrukcích, postavených na jedné desce plošných spojů s dvoukolovým diferenciálním podvozkem. Takovouto konstrukcí se snaží dosahovat zejména malé hmotnosti a tím i vyšší maximální rychlosti a velké akcelerace. K pohunu jsou používány povětšinou stejnosměrné motorky, které dosahují vysokých otáček. S rychlostí pohybu robotů rostou také nároky na výpočetní výkon řízení celého robota, tedy jsou kladeny požadavky nejen na rychlý řídicí procesor, ale také na rychlou odezvu senzorů. Pro zpřesnění regulace při pohybu robota jsou také vybavovány akcelerometry a gyroskopickými senzory. Na základě dat z těchto senzorů je možné lépe snímat dynamické změny při pohybu robota. Celé řízení je pak řešeno jedním výkonným mikrokontrolérem, který dokáže pružně zpracovávat data ze všech senzorů a snímačů a současně provádět výpočty pro regulaci a řízení robota a také vyhodnocovat algoritmy navigace v bludišti. Pro ilustraci jsou uvedeny některé úspěšné konstrukce robotů v soutěži Micromouse.

3.1 Robot DECIMUS

Autorem tohoto robota je Peter Harrision. S verzí robota DECIMUS 2 se umístil jako první v soutěži UK Micromouse 2010 pořádanou na univerzitě v Birghamu.

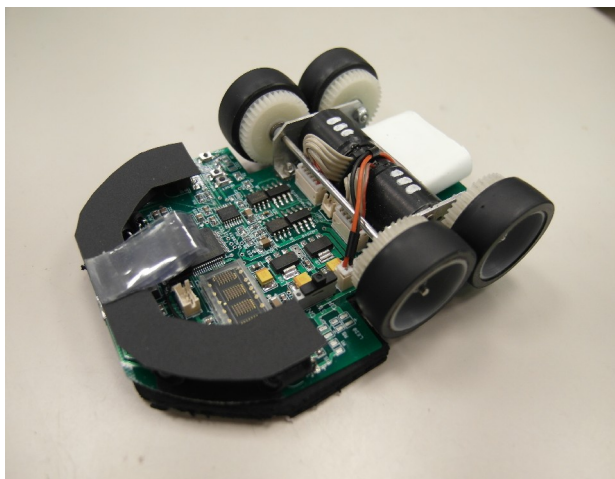


Obr. 6 Robot Decimus 2[4]

Robot je poháněn dvěma stejnosměrnými motory s integrovanými inkrementálními snímači umístěnými uprostřed konstrukce. Jako senzory využívá infračervené diody s fototranzistory. Celý robot je pak řízen procesorem dsPIC od výrobce MICROCHIP [4].

3.2 Robot MIN

Jedná se o řadu robotů vyvíjených ve školním institutu NGEE ANN Polytechnic v Singapuru. Autorem těchto robotů je Ng Beng Kiat. Posledním jeho modelem robota kategorie Mikromouse je robot MIN7.



Obr. 7 Robot MIN7[5]

Robot je poháněn dvěma stejnosměrnými motory značka Faulhaber. Jako senzory používá dvojice fototranzistor a infradioda značky SHARP. Je také vybaven gyroskopem firmy Analog Devices adxrs610. Váží pouhých 90g a dosahuje zrychlení 13ms^{-2} . Robot je řízen mikroprocesorem od výrobce Hitachi 2633R pracující na frekvenci 20MHz. Zvláštností tohoto robota jsou čtyři kola, hnaná pouze dvěma motory, což umožňuje vysokou akceleraci robota bez podkluzu kol [5].

4 ROZBOR NOVÉ KONSTRUKCE ROBOTA

Na základě poznatků získaných o nynějších konstrukcích robotů kategorie IEEE Micromouse by se vylepšení nové konstrukce daly shrnout do několika bodů:

- Odlehčení a zjednodušení konstrukce
- Vylepšení senzoriky robota
- Doplnění gyroskopu a akcelerometru
- Zvýšení výpočetního výkonu robota
- Doplnění o bezdrátovou komunikaci s robotem pro testovací účely

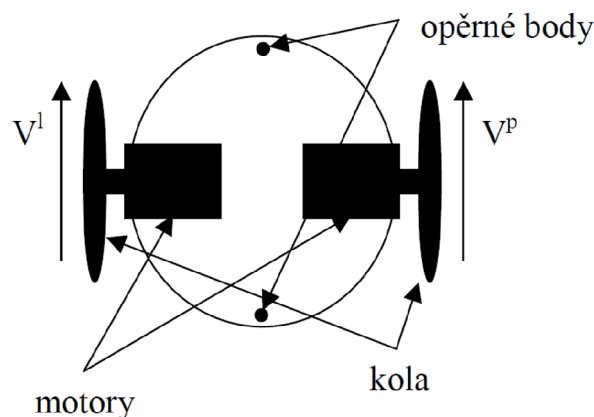
4.1 Mechanická konstrukce robota

Aby byl robot co nejlehčí, je zapotřebí zejména odstranit těžkopádný kovový podvozek robota. Jako podvozek a zároveň tělo robota lze využít plošných spojů, na které se nachází i celá elektronika robota. Rozměr této desky tedy udává celé rozměry robota a je tedy omezen požadavky soutěže popsané výše. Naproti tomu je třeba na desku vměstnat veškerou potřebnou elektroiku robota. Pro malé rozměry a dobrou ovladatelnost robota, byl zachován dvoukolový diferenciální podvoze.

4.1.1 Diferenciální podvozek robota

Tento typ podvozku je nejjednodušší možnou konstrukcí pro kolového robota. Dále je v soutěži micromouse také nejpoužívanějším. Díky své jednoduchosti je také levný.

Diferenciální podvozek má osu kol umístěnou nejlépe ve středu konstrukce, kterým by nejlépe mělo procházet těžiště robota. Každé kolo pak musí být hnáno zvlášť vlastním pohonem, pro možnost změny směru pohybu robota. Doplněny musí být také opěrné body. Mohou to být buď malé valivé součástky, které nejsou hnané, nebo jen kluzné plošky. Takto vybavený robot je pak schopen velice dobré manévrovatelnosti a je schopen se otáčet i na místě kolem své osy. Pro snímání polohy otočení kol, jsou vhodné motory s inkrementálními snímači umístěnými přímo na zadní straně osky motoru. Na osku motoru je pak možno připevnit kola přímo, nebo použít ozubený pastorek pro získání převodového poměru na hnané kolo. Schématicky je to znázorněno na obrázku Obr. 8. Tento typ je nejčastější konstrukcí a byl zvolen i pro nového robota [6].



Obr. 8 Diferenciální podvozek s opěrnými body[6]

Odometrie podvozku

Pochopení odometrie tohoto podvozku je velice intuitivní. Pokud se kola otáčejí stejnou rychlostí stejným směrem, pak se robot pohybuje po přímce. Pokud se jedno kolo otáčí větší rychlostí, pohybuje se robot po kružnici. Budou-li se kola otáčet vůči sobě v opačném smyslu stejnou rychlostí, bude se pak robot otáčet kolem bodu, který se nachází v polovině osy hanných kol. Tento bod označme jako *referenční bod*[7].

Pohyb robota po kružnici je vyjádřen rovnicí Rov.1 , kde r je poloměr otáčky $[m]$, b je rozchod kol $[m]$, v_L , v_R jsou rychlosti jednotlivých kol $[ms^{-1}]$.

$$r = \frac{b \cdot (v_L + v_R)}{2 \cdot (v_L - v_R)}$$

Rov.1

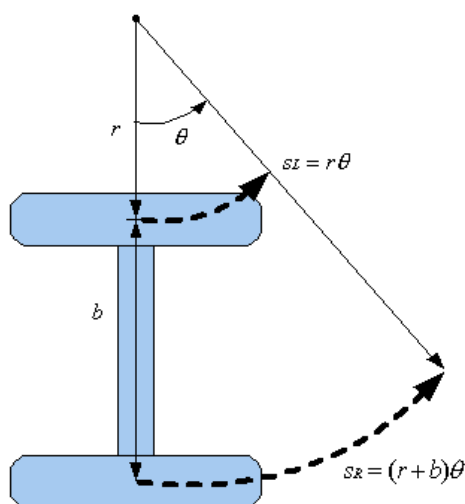
Vztah mezi úhlem θ natočení robota $[rad]$ a ujetou dráhou každého kola s_L , s_R $[m]$ pak udává vztah Rov.2 . Celková ujetá dráha je pak popsána rovnicí Rov.3 .

$$\theta = \frac{(\Delta s_L + \Delta s_R)}{2}$$

Rov.2

$$s = \frac{(s_L + s_R)}{2}$$

Rov.3



Obr. 9 Průjezd zatáčkou

Rychlost referenčního bodu $v_{REF} [ms^{-1}]$ vyjadřuje vztah Rov.4 .

$$v_{REF} = \frac{(v_L + v_R)}{2}$$

Rov.4

Zde bylo čerpáno z [7].

4.2 Pohon robota

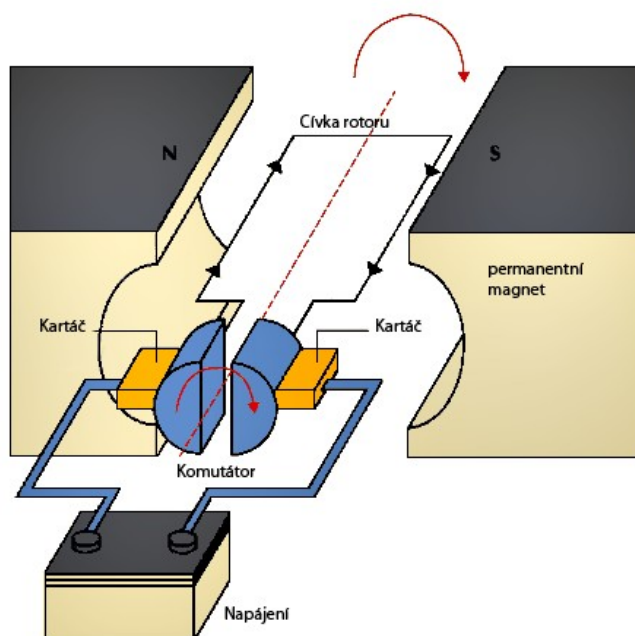
Aby byla konstrukce robota co nejlehčí je potřeba velké těžké krokové motory nahradit malými stejnosměrnými motory. Stejnosměrné motory dosahují větších výkonů při vyšších otáčkách, než-li krokové. Další výhodou je také plynulý chod oproti krokovým motorům. Díky dostupnosti miniaturních stejnosměrných motorů, lze konstrukci robota značně zmešit a odlehčit. Nevýhodou těchto motorků ošem je, že nelze motor otáčet o přesné kroky, jak je tomu u krokových a musí tedy být doplněny vhodným snímačem polohy. Pro robota byly zvoleny stejnosměrné kartáčové motorky.

4.2.1 Stejnosměrné motory

Stejnosměrné motory se dále dělí na kartáčkové a bezkartáčové.

Kartáčkové motory

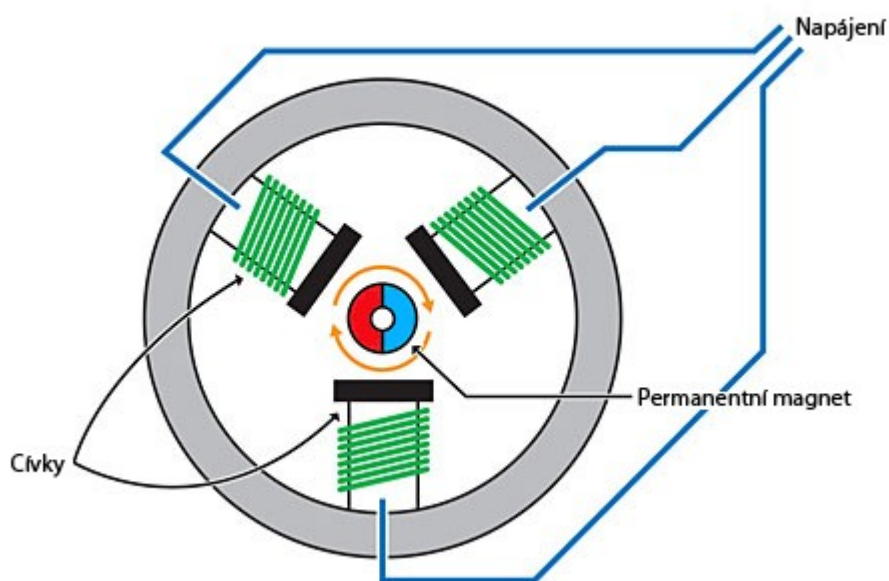
Kartáčkové motory mají stator sestavený z permanentních magnetů a rotor je tvořen minimálně dvojicí cívek. Vyší počet cívek znamená vyšší točivý moment, ale nižší maximální otáčky. Stejnosměrné napětí do cívek je přivedeno přes komutátor, který zajišťuje vytváření točivého momentu působícího na rotor. Stator musí obsahovat takzvané kartáče, přes které přivádí napětí na točící se komutátor při běhu motoru. Kartáčky jsou většinou z grafitu. Nevýhodou je tedy opotřebování kartáčků během chodu motoru a vznik grafitického prachu. Díky mechanickému komutátoru dochází u těchto motorů také k poměrně velkému elektromagnetickému rušení. Značnou výhodou je ovšem cena, která je oproti bezkartáčkovým nižší[8].



Obr. 10 Princip stejnosměrného motoru s permanentními magnety

Bezkartáčkové (brushless) motory

Bezkartáčkové motory, na rozdíl od kartáčkových motorů, mají rotor tvořen permanentními magnety a stator sestaven z cívek. Pro vytváření točivého momentu pak musí být cívky buzeny ve správné sledu. Pro to musí motor obsahovat elektroniku pro řízení těchto cívek. Elektronika je realizována pomocí tranzistorů, které spínají cívky. Tyto motory musí být vybaveny snímači polohy hřídele. Tyto motory jsou výrazně dražší, kvůli řídicí elektronice. Výhodou oproti kartáčkovým je dosažení většího výkonu, za vyšších otáček díky odstranění tření na komutátoru. Díky absenci komutátoru mají také tišší chod a vykazují menší elektromagnetické rušení. Nejjednodušším typem tohoto pohonu jsou například ventilátorky používané v počítačích[8].



Obr. 11 Schéma bezkartáčového stejnosměrného motoru

4.2.2 Princip stejnosměrných motorů s permanentními magnety

V této kapitole bylo čerpáno z [8].

Princip stejnosměrného motoru s permanentními magnety a komutátorem se dá popsat na principu elementárního stejnosměrného stroje. Tento stroj se skládá ze statoru, což je část motoru, která tvoří pevnou kostru motoru a rotoru, který tvoří pohyblivou část motoru a je tvořen jedním závitem (viz obrázek Obr. 10). Konce závitu jsou pevně připojeny na lamely komutátoru, kde je přes sběrné kartáče přiváděno (odváděno) budící napětí. Tento závit je umístěn v magnetickém poli tvořeném permanentními magnety statoru. Prochází-li závit proud působí pak na něj síla $F[N]$. Velikost této síly je popsána rovnicí Rov.5, kde $B[T]$ indukovaný magnetický tok, $I[A]$ je proud závitem a $l[m]$ je délka závitu.

$$F = B \cdot I \cdot l$$

Rov.5

Tato síla tvoří točivý moment, který otáčí rotorem ve směru jejího působení. Aby se docílilo otáčení o 360° , je třeba na stator přivést střídavé napětí, což je docíleno za pomoci komutátoru. Změna polarity napájení mění smysl otáčení celého statoru.

Pro stejnosměrný motor dále platí tyto vztahy:

$$U_i = C \cdot \Phi \cdot \omega$$

Rov.6

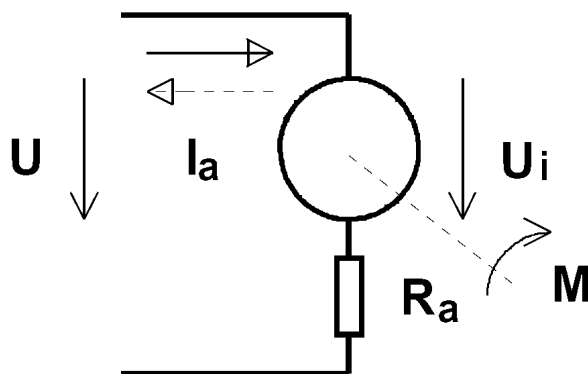
$$M = C \cdot \Phi \cdot I$$

Rov.7

První rovnice Rov.6 se nazývá *napěťová* popisuje stav kdy se motor otáčí úhlovou rychlostí $\omega[rad]$ a $U_i[V]$ je napětí na statoru. Rovnice Rov.7 se nazývá *momentová* rovnice, která velikost momentu $M[Nm]$ v závislosti na protékajícím proudu statorovým vinutím. $\Phi[T]$ je magnetický tok statoru a konstanta C se nazývá *motorová konstanta*.

Magnetický tok Φ je u motorů s permanentními magnety konstantní, a jeho velikost je dána použitým typem magnetů, z čehož na základě rovnice Rov.6 vyplývá, že otáčky motoru lze měnit pouze napětím statoru.

Náhradní schéma obvodu rotoru motoru v ustáleném stavu je na obrázku Obr. 12.



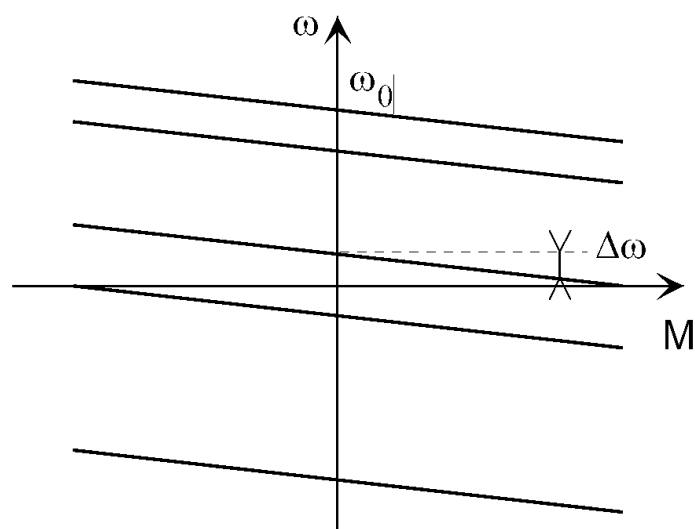
Obr. 12 Náhradní schéma rotoru motoru[8]

Zatěžovací charakteristika je popsána rovnicí Rov.8 , kde $R_a[\Omega]$ je odpor statorového vinutí a $\omega_0[\text{rad}]$ jsou ideální otáčky při chodu naprázdno. Tato rovnice je rovnicí přímky, kde její směrnice k určuje „tvrdost“, tj. Pokles otáček při zatížení[8].

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_a}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M = \omega_0 - k \cdot M$$

Rov.8

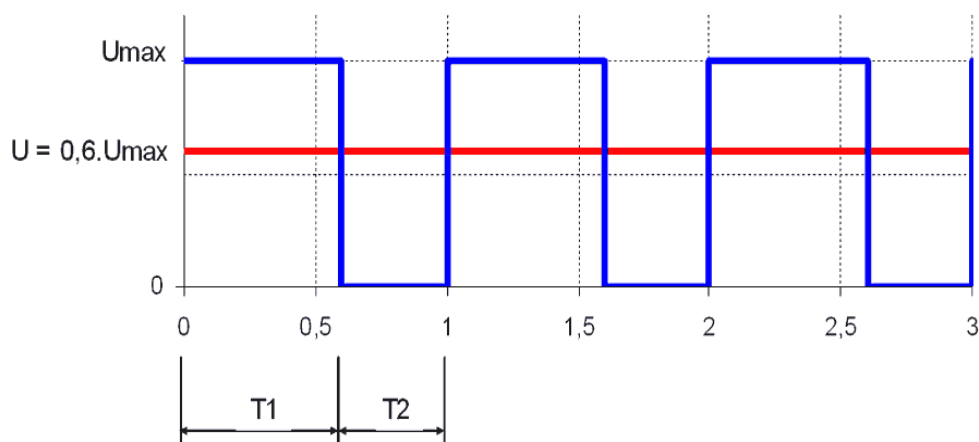
Zatěžovací charakteristiky ilustruje obrázek Obr. 13 . $\Delta\omega$ udává pokles otáček při určitém zatěžovacím momentu motoru.



Obr. 13 Zatěžovací charakteristiky stejnosměrného motoru[8]

4.2.3 Řízení otáček stejnosměrného motoru

Otáčky motoru jsou úměrné napájecímu napětí a zatížení. Lze tedy řídit motor změnou napájecího napětí, respektive jeho střední hodnotou. Pokud bychom napětí měnily lineárně, pak by při zachovaném zátěžovém momentu výrazně narůstal proud. Proto se pro změnu střední hodnoty napětí používá pulzní šířková modulace (PWM), kde se na motor vždy přivádí pouze jmenovité napětí, ale jeho střední hodnota se mění s dobou spínání dle PWM modulace. Díky relativně vysoké frekvenci spínání a setrvačnosti motoru nestačí motor změny sledovat a chová se jako by na něj bylo přiváděno napětí o střední hodnotě PWM signálu. Průběh PWM signálu je zobrazen na obrázku Obr. 14, kde $U_{\max}[\text{V}]$ je maximální hodnota PWM signálu a tedy i jmenovitém napětím motoru. Motor pak reaguje na hodnotu napětí $U[\text{V}]$ [8].



Obr. 14 PWM modulace

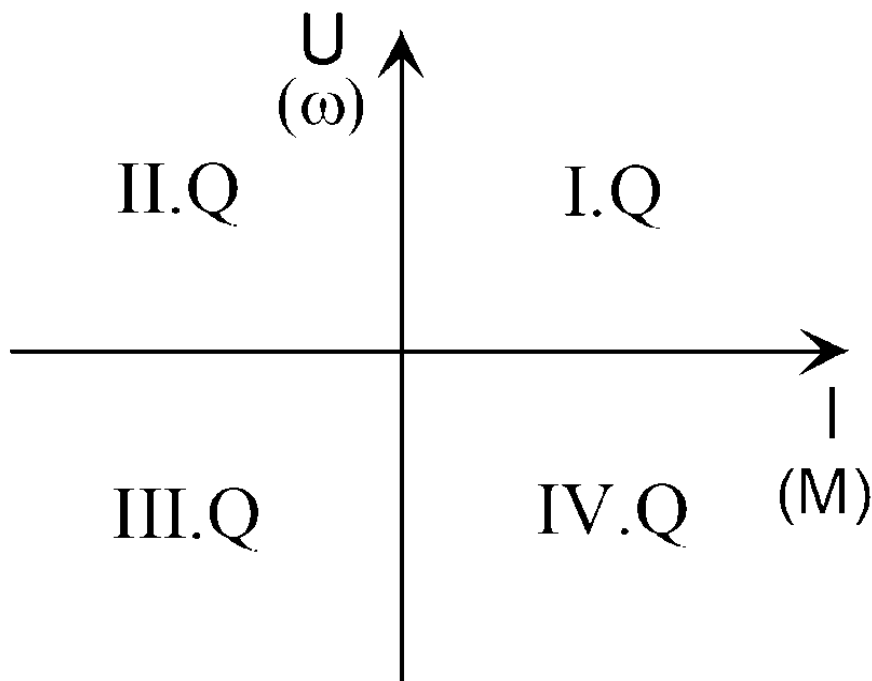
Střední hodnota PWM signálu se spočítá podle vztahu Rov.9, kde $T_1[\text{s}]$ je doba sepnutí a $T_2[\text{s}]$ doba vypnutí přiváděného napětí.

$$U = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \cdot U_{\max}$$

Rov.9

Pro přivedení PWM signálu na napájení motoru je třeba použít výkonový spínací prvek. Pro tuto aplikaci je nejvhodnější použít unipolární tranzistory MOS-FET. Pro řízení těchto tranzistorů je třeba daleko nižších výkonů než u bipolárních tranzistorů. Předností těchto tranzistorů je jejich velký vstupní odpor v řádech $\text{G}\Omega$ a velké výkonové zesílení. Při saturačním napětí mají také nulový úbytek a dokáží pracovat při spínacích frekvencích v řádech desítek kHz . Jsou tedy vhodné pro spínání nízkých napětí [8].

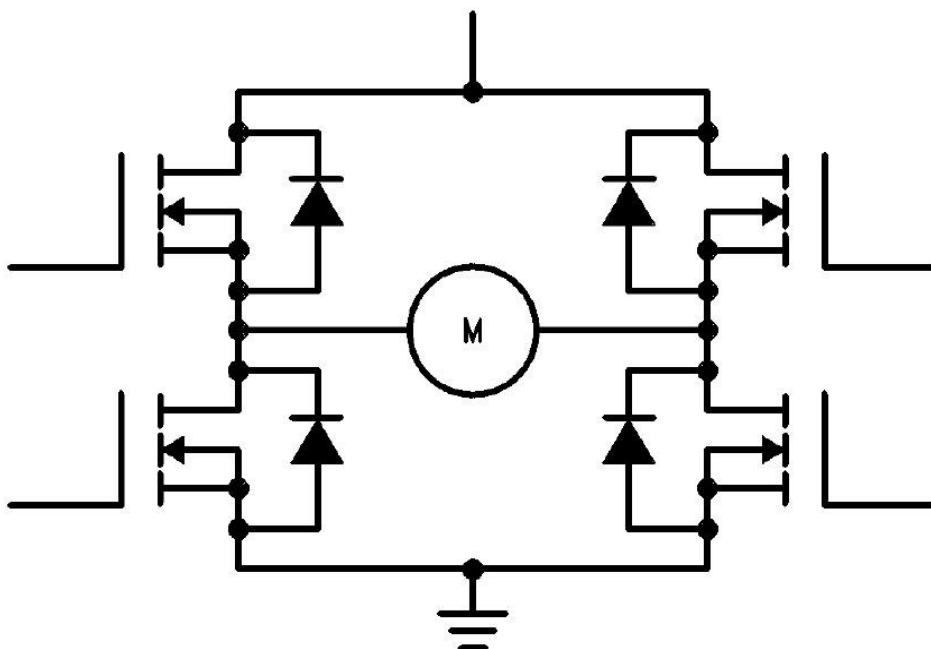
Pracovní režimy motoru se dají popsat pomocí diagramu rozděleného do čtyř kvadrantů (viz Obr. 15). Vodorovná osa tohoto diagramu znázorňuje proud (nebo zatěžovací moment M) protékající motorem a znaménko jeho směr. Svislá osa pak představuje přiváděné napětí (nebo otáčky motoru ω) a jeho polaritu[8].



Obr. 15 Režimy řízení motoru[8]

Osy dělí diagram do čtyř kvadrantů očíslovaných římskými číslicemi. V kvadrantu I.Q a III.Q pracuje motor v takzvaném motorickém režimu, kde tok energie směřuje ze zdroje do motoru. V kvadrantu I.Q se pak motor otáčí jedním směrem a v kvadrantu III.Q opačným. Kvadranty II.Q a IV.Q představují takzvaný generátorický režim motoru, kde energie vzniklá otáčením motoru, teče z motoru směrem do napájení. Tyto dva kvadranty tedy představují brzdný režim motoru, kde dochází k rekuperaci energie[8].

Abychom motor mohly použít v těchto čtyřech režimech, je třeba použít zapojení tranzistorů do takzvaného čtyřkvadrantového spínače. Toto zapojení se také nazývá H-můstek, kvůli jeho schématickému zapojení, kde spínací prvky jsou uspořádány ve tvaru písmene H a spínaná zátěž, tedy motor, je uprostřed spínacích prvků. Toto zapojení je schématicky znázorněno na obrázku Obr. 16 .



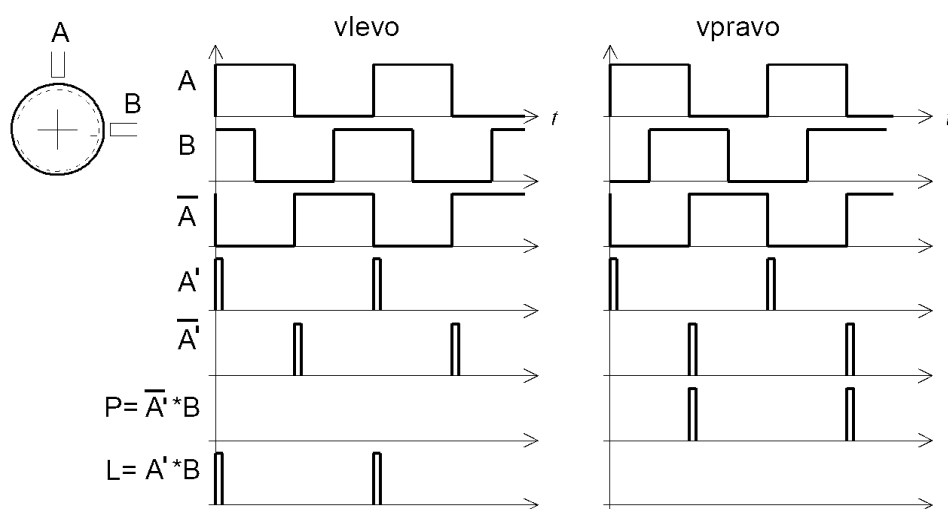
Obr. 16 H-můstek – čtyřkvadrantový spínač

Toto zapojení dovoluje řídit motor ve všech výše popsaných režimech při přivedení napájecího napětí v jedné polaritě[8].

4.2.4 Snímání polohy motoru

Ke snímání polohy natočení motoru se nejčastěji používají takzvané inkrementální snímače polohy. Z polohy natočení motoru lze pomocí derivace podle času získat i jeho úhlovou rychlost otáčení. Snímače pracují buďto na fotoelektrickém principu pro přesné snímače s vysokým rozlišením, nebo indukčním (magnetickým) pro méně přesné snímače. Výstupem těchto snímačů jsou dva kanály, často označované jako A a B. Signály kanálů jsou periodické a fázově vzájemně posunuté o 90°. Ze signálů z těchto kanálů pak lze získat informaci o směru otáčení a derivací jejich náběžných a sestupných hran přírůstky polohy dle rozlišení snímače[8].

Snímače jsou konstruovány s pevným rozlišením, například 512 nebo 1024 změn na otáčku. Derivujeme-li sestupné i vzestupné hrany obou signálů A i B, dostáváme tak čtyřnásobné rozlišení snímače. Průběhy signálů jsou znázorněny na obrázku Obr. 17. Některé inkrementální snímače bývají také doplněny kanálem I, kde jeho signál tvoří pulz při každém otočení snímače o 360°.[8]



Obr. 17 Průběh signálů A a B z inkrementálního snímače[8]

Informaci o úhlové rychlosti na základě odměřování úhlového natočení snímačem lze získat jedním z následujících způsobů.

- Měřením frekvence přicházejících pulzů za pevnou dobu měření T ; tento princip má nedostatky při velmi malých rychlostech otáčení, jelikož pro přesnější měření bychom potřebovali další dobu T .
- Měřením periody výstupních pulzů; toto řešení má nevýhodu naopak při vysokých rychlostech, kde pro měření periody je zapotřebí vysoké vzorkovací frekvence.
- Na základě derivace polohy, pokud máme snímač zapojený v polohové vazbě regulátoru otáček motoru. Rychlost se pak spočítá dle vzorce Rov.10.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dT} \approx \frac{\Delta\varphi}{T} = \frac{\varphi_k - \varphi_{k-1}}{T}$$

Rov.10

kde T je vzorkovací perioda a $\varphi_k - \varphi_{k-1}$, je rozdíl dvou po sobě jdoucích hodnot natočení odměřených po sobě za dobu vzorkovací periody[8].

4.3 Optické senzory překážek

V kapitole bylo čerpáno z [4],[9]

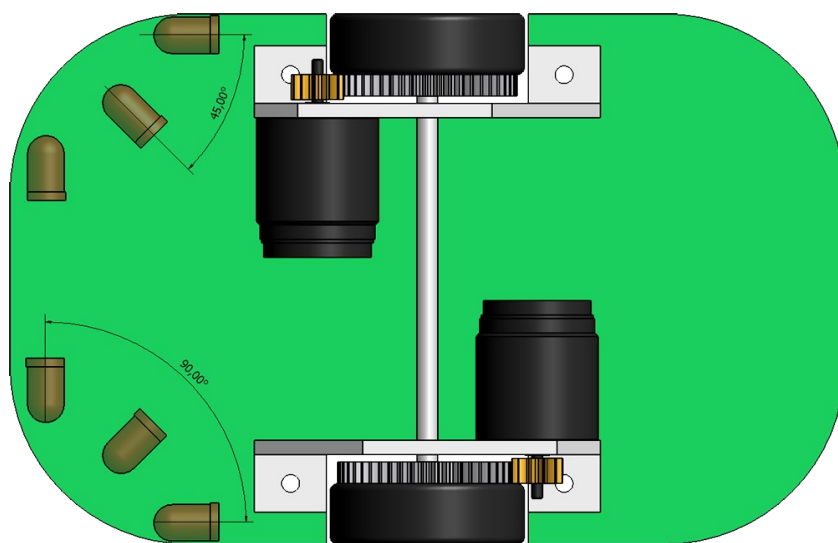
Pro orientaci autonomního robota v neznámém prostředí jsou nejdůležitější jeho součástí senzory překážek. Pro roboty kategorie IEEE Micromouse jde o senzory, které dokáží detekovat překážky v bludišti této soutěže, tedy stěny bludiště. Stěny bludiště jsou vyrobeny tak, aby odrážely infračervené světlo. Postačí tedy, aby robot byl vybaven infračervenými snímači překážek, které dokáží detekovat vzdálenost od překážky.

Důležitou vlastností těchto senzorů je jejich rychlost odezvy, aby se robot mohl v bludišti pohybovat co nejrychleji je to možné a na základě dat ze senzorů vyhodnocovat například regulační odchylku pro regulaci pohybu robota v bludišti. Dále výhodou je možnost vyhodnocovat překážku pokud možno v co největší vzdálenosti. Senzory, kterými je vybaven robot Micromouse I mají nevýhodu především v pomalé odezvě měření. Také kvůli jejich velikosti by byl počet senzorů omezen na minimální počet senzorů a zvětšoval by celou konstrukci robota.

4.3.1 Rozmístění senzorů

Při pohybu robota v bludišti, kdy se předpokládá pohyb robota pouze dopředu při prohledávání, jde o detekci stěn ve třech směrech od robota. Dopředu, vlevo a vpravo. Pro zlepšení projíždění zatáček v šikmém směru je vhodné ještě robota vybavit snímači, které „vidí“ diagonálně pokud je robot natočen rovně v základním poli bludiště. Tyto senzory pomůžou dříve detekovat volný průjezd vpravo nebo vlevo v bludišti, což může napomoci při určení správné doby k započetí zatáčení robota pro optimální průjezd zatáčkou. S namířením senzorů v určitém úhlu lze experimentovat a docílit tak optima pro konkrétní konstrukci robota.

Robot Micromouse II byl tedy vybaven třemi senzory pro každou stranu robota. Dopředný senzor, boční senzor a diagonální senzor. Rozmístění senzorů je zobrazeno na obrázku Obr. 18.



Obr. 18 Rozmístění senzorů

4.3.2 Použité optické senzory

V této kapitole bylo čerpáno z [9].

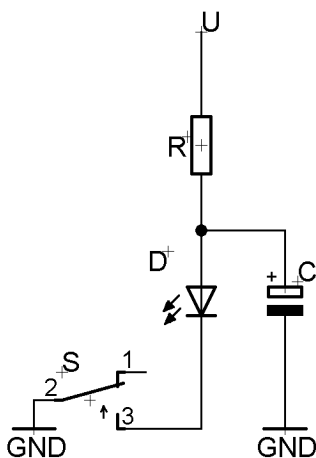
Optický senzor robota tvoří dvojice infračervená dioda a fototranzistor. Dioda slouží jako emitor infračerveného světla, které se odráží od stěn bludiště. Jako detektor odraženého světla funguje fototranzistor. Obě součástky tedy pracují v infračerveném spektru, které není lidským okem vidět. Toto spektrum je také jen velice málo obsaženo v běžném denním nebo umělém světle, čímž se zajišťuje pokud možno co nejlepší odstup od rušení okolními vlivy. Na tyto součástky jsou tedy kladeny požadavky, aby pracovaly v co nejjužším spektru vlnové délky infračerveného záření.

Princip detekce překážky je zřejmý. Odražený světelný pulz vyslaný IR diodou je odražený od stěny bludiště a je detekován na fototranzistoru, který se otevírá v závislosti na intenzitě odraženého světla. Díky difuzi odraženého světelného paprsku, je světelný odraz rozptýlen do více směrů a tím snímač dokáže detekovat i překážku, která neodráží světlo přímo v úhlu dopadu na fototranzistor. Míra otevření fototranzistoru se však může lišit od „kolmých“ senzorů. Je třeba tedy senzory individuálně seřizovat.

Rozsah měřené vzdálenosti je závislý na dostatečné intenzitě světelného odraženého paprsku, která dokáže otevřít bázi fototranzistoru a to i nad hodnotou možného okolního rušení. Pro měření větších vzdáleností je třeba maximalizovat intenzitu emitovaného paprsku. To naopak při odrazu od blízkých překážek může vést k saturaci fototranzistoru a tím k znecitlivění snímače. Snímač pak může pracovat pouze jako detektor přítomnosti překážky. Tomuto se dá do jisté míry zabránit vhodným umístěním snímače na robota. (viz Obr. 18).

4.3.3 Princip emitování silného pulzu snímače

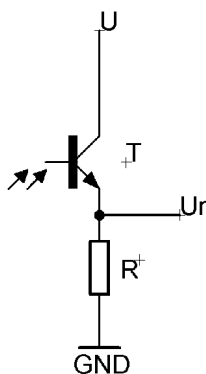
Pro zvýšení intenzity emitovaného světla infradiodou se dá využít nábojového pulzu z kondenzátoru připojeného paralelně k diodě. Dioda také dokáže snést několikanásobně větší proud, než je její jmenovitý, ale pouze jako proudovou špičku. Tím se dá vytvořit záblesk o vysoké intenzitě. Po takovémto pulzu dioda potřebuje čas na zotavení. Princip tohoto zapojení je na obrázku Obr. 19, kde omezovací odpor R , zapojený sériově s diodou, omezuje proud protékající diodou. Také kondenzátor C je přes tento odpor nabíjen při vypnutém stavu spínače S a jeho napětí se ustálí na velikosti napětí U . Bezprostředně po zapnutí spínače S , je na diodě napětí kondenzátoru C a ten se přes diodu prudce vybije. Pak již diodou protéká proud omezený rezistorem R .



Obr. 19 Zapojení IR diody snímače

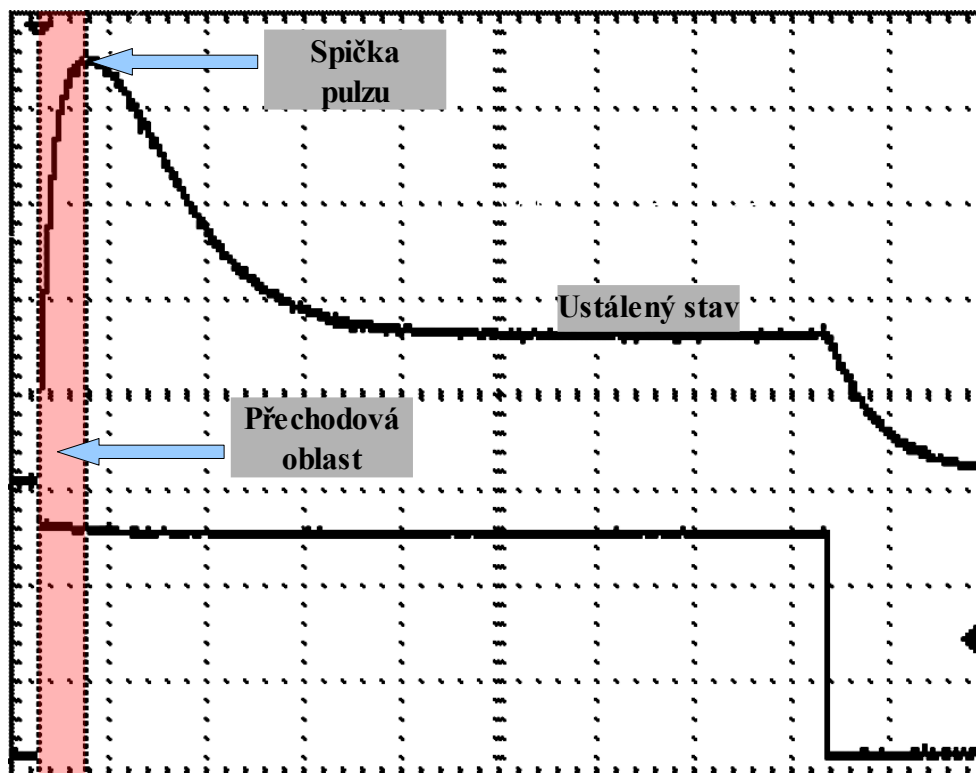
4.3.4 Snímání světelného odrazu

Zapojení fototranzistoru je na obrázku Obr. 20 . Fototranzistor je připojen na napájecí napětí U . Fototranzistor je otevírán v závislosti na intenzitě světla dopadajícího na jeho bázi, čímž se mění proud protékající kolektorem fototranzistoru T . Měření tohoto proudu je realizováno odporem R . Napětí U_r na odporu R je měřenou veličinou snímače.



Obr. 20 Zapojení fototranzistoru snímače

Průběh napětí U_r při pulzu způsobeného infračervenou diodou je na obrázku Obr. 21 .



Obr. 21 Průběh měřeného napětí snímače při pulzu z infračervené diody[9]

Průběh lze rozdělit do tří částí. *Ustálený stav*, který je dosažen po špičce způsobené vybitím kondenzátoru u infračervené diody. *Vrchol špičky pulzu* a *přechodová oblast* způsobená prudkým vybíjením kondenzátoru přes diodu. Pro rychlou reakci snímače lze využít právě tuto oblast.

4.4 Gyroskop a akcelerometr

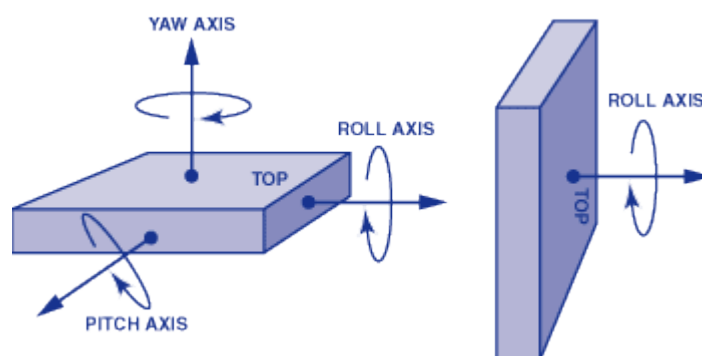
V této kapitole bylo čerpáno z [10].

Pro zpřesnění navigace robotu je vhodné robot vybavit gyroskopem a akcelerometrem. S těmito prvky lze měřit dynamické vlastnosti při jeho pohybu. Gyroskop nebo akcelerometr jsou součástky založené na mechanických principech a díky technologii MEMS jsou i s potřebnou elektronikou integrovány každý na jednom čipu. Zkratka MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) označuje mikroskopický elektromechanický systém. Díky takovéto minimalizaci lze tyto součástky využít v nejrůznějších aplikacích.

4.4.1 Gyroskop

Gyroskop je již řadu let známý mechanický prvek, který se používá pro měření a určování změny polohy nebo natočení libovolného předmětu. Dnes se již vyrábějí v podobě malých součástek, které kromě samotného gyroskopického senzoru obsahují také řadu elektroniky, která zpracovává signál ze snímací elektroniky. Výstup pak může být buďto analogový nebo digitální. Gyroskopy se používají například v aplikacích pospaných níže.

- Detekce a měření rotačního pohybu
- Stabilizační jízdní systémy automobilů
- Zpřesňování pozice systémů GPS
- Stabilizace obrazu a předmětů
- Zjišťování změny polohy, detekce pohybu
- Měření setrvačnosti
- Měření náklonu
- Detekce převrácení, např. automobilu
- Navádění a řízení raket, letadel, robotů apod.
- atd.



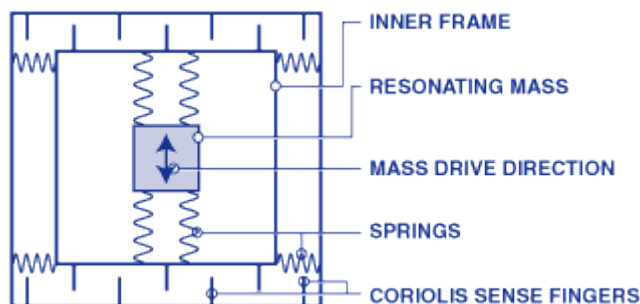
Obr. 22 Možnosti měření natočení a rotace[10]

Obrázek Obr. 22 ilustruje možnosti měření natočení a rotace pomocí gyroskopu v různých osách. Osa z bývá označována jako svislá (yaw axis), osa y jako příčná (pitch axis) a osa x jako podélná (roll axis). Nejčastěji bývají součástky konstruovány pro měření natočení ve svislé ose. Chceme-li měřit natočení v jiné ose, musíme tak součástku na měřený objekt umístit. Obecně pak gyroskop v těchto osách dokáže měřit úhlovou rychlost natočení v jednotkách stupňů za sekundu ($^{\circ}/s$). [10]

Gyroskopy vyráběné technologií MEMS jsou založeny na principu měření Coriolisovy síly. Coriolisova síla F_c je tzv. virtuální síla, která působí na libovolný hmotný předmět či objekt m , který se pohybuje rychlostí v v soustavě rotující kolem osy rotace úhlovou rychlostí ω , dle vzahu $\vec{F}_c = 2 \cdot m \cdot (\vec{v} \times \vec{\omega})$ kde \times je vektorový součin.[10]

$$\vec{F}_c = 2 \cdot m \cdot (\vec{v} \times \vec{\omega})$$

V gyroskopech typu MEMS, je pro měření Coriolisovy síly použita mechanicko-elektrická struktura, která je znázorněna na obrázku Obr. 23 .



Obr. 23 Mechanicko-elektrická struktura gyroskopu[10]

Základ tvoří rezonující struktura (resonating mass) upevněná v rámu (inner frame), která se vlivem vlastní mechanické rezonance, zde reprezentované pružinami (springs), pohybuje v uvedeném směru (Mass drive direction), kolmém na směr otáčení. Přitom vzniká Coriolisova síla úměrná úhlové rychlosti otáčení, která stlačí vnější pružiny rámu a způsobí vzájemný posuv měřících plošek (Coriolis sense fingers), fungujících jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Výstup je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti otáčení.[10]

4.4.2 Akcelorometr

Akcelorometr je senzor, který využívá setrvačnosti hmoty pro měření rozdílu mezi kinematickým zrychlením (vzhledem k určitému inerciálnímu prostoru) a gravitačním zrychlením [6]. Akcelorometr je tedy schopný měřit zrychlení v určité ose. V závislosti na použité technologii se vyrábějí i akcelometry které dokáží měřit zrychlení ve více osách. Trendem je požití principu založeném na technologii MEMS popsané výše. Technologie iMEMS pak integruje několik takovýchto mikroelektromechanických prvků na jednom čipu, čímž lze vytvářet víceosé akcelometry.

4.5 Požadavky na řídicí mikrokontrolér robota

Pro minimalizaci konstrukce bylo upuštěno od použití několika samostatných mikrokontrolérů, které obsluhovaly jednotlivé části robota. Snahou bylo zvolit dostatečně výkonný mikrokontrolér, který by mohl zastávat zároveň úlohy řízení pohonu, zpracovávat data ze všech senzorů a símačů. Tento procesor tedy musí být vybaven perifériemi, které jsou zapotřebí pro obsluhu a komunikaci s jednotlivými částmi robota. Z použitých součástí robota tedy vyplynuly požadavky na tyto periférie.

- Rychlý Anlogo-digitální převodník, pro měření napětí ze senzorů.
- 2x Kvadrurní dekodekoder pro zpracovávání signálů z inkrementálních snímačů motorů.
- SPI rozhraní, tedy sérové rozhraní pro komunikaci s gyroskopem a akcelerometrem.
- Řadič sériové komunikace USART pro komunikaci robota například s počítačem.

Dalším požadavkem byla také rychlost procesoru, aby dokázal rychle zpracovávat data z periférií a zároveň provádět výpočty regulací a algoritmu pro hledání cesty. Dalším neméně důležitým požadavkem je také cena, dostupnost a vhodné vývojové prostředí.

Procesor, který splňoval tyto požadavky byl mikrokontrolér od firmy Atmel z řady AVR XMEGA, který v době vypracovávání této práce byl také novinkou. Aspektem výběru tohoto mikrokontroléru, také bylo vhodné vývojové prostředí, které je u tohoto procesoru výrobcem poskytováno zdarma a se kterým jsem se při studiu již dobře obeznámil. Výbavou školní laboratoře je také programátor k tomuto čipu. Tento procesor je také vybaven DMA (Direct Memory Access) kanálem, který lze s výhodou využít při získávání dat z anlogo-digitálního převodníku, při minimální zátěži procesorového času.

Jedná se o 8/16 bitový mikrokontrolér Atxmega128A1 založený na architektuře RISC (reduced instruction set computer) s nízkým příkonem a možností taktování pracovního kmitočtu periférií.

4.6 Bezdrátová komunikace robota

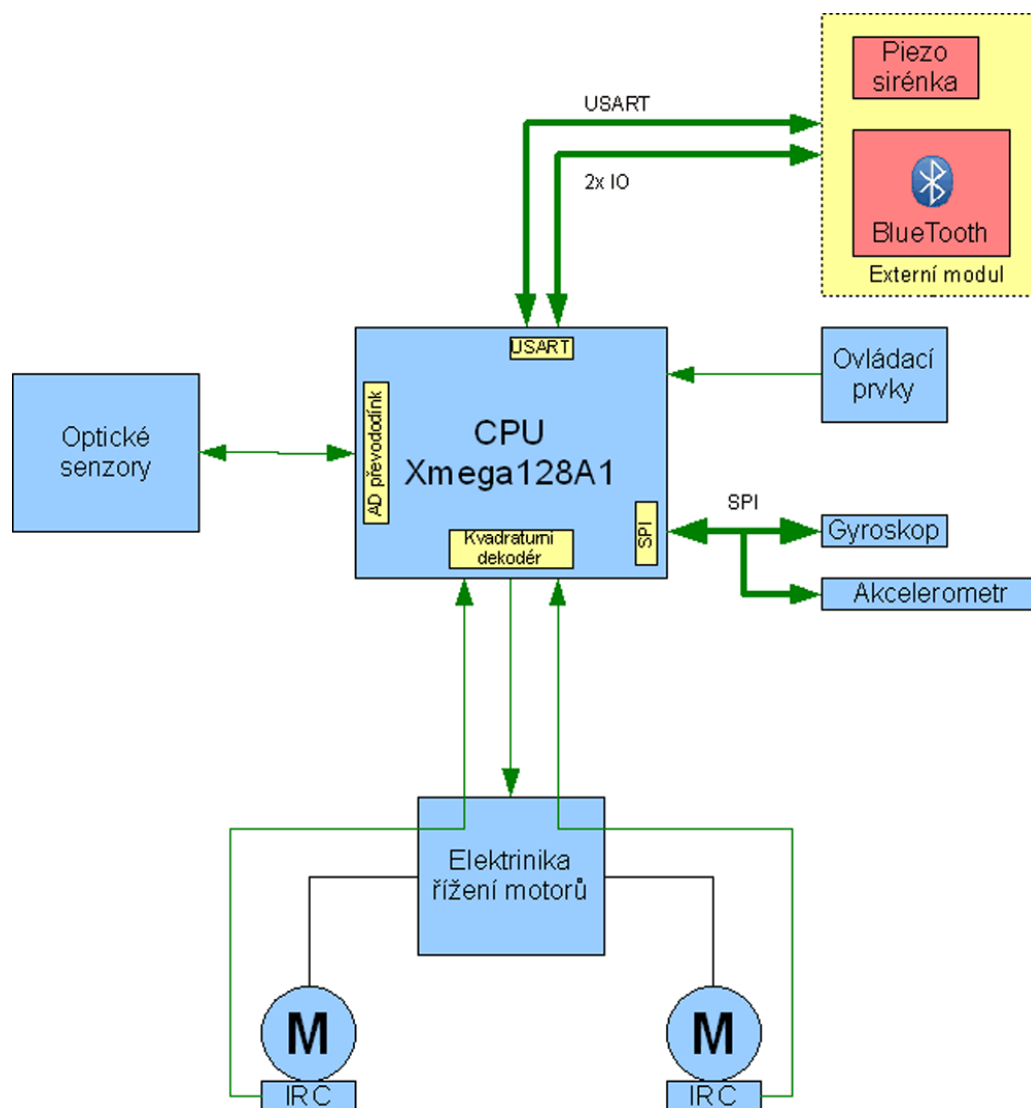
Bezdrátová komunikace robota je vhodným řešením pro získávání dat z robota v reálném čase při jeho běhu. Tyto data lze využívat pro účely ladění a testování. Tedy je vhodné zvolit dostupnou technologii, kterou jsou běžně vybaveny počítače. Nejběžnější takovéto technologie jsou v dnešní době Wifi nebo Bluetooth. Dále je třeba aby mikrokontrolér dokázal s takovou technologií komunikovat. Pro budoucí možné účely robota, kdy by bylo například nutno zajistit komunikaci robota s jinými systémy nebo jinými roboty a použít pro to jiný způsob komunikace, je vhodné tuto část robota realizovat jako doplňující. Navíc při účasti robota v soutěži kategorie IEEE Micromouse, by s takovýmto modulem nesplňoval požadavky soutěže.

Zvýše popsanych důvodů byl na robotovi realizován pouze slot pro přídatný doplňující modul. Na tomto modulu lze realizovat bezdrátovou komunikaci, či vytvořit k robotovi jiné doplňující moduly, jako například modul s displejem a jiné.

Pro bezdrátovou komunikaci byl realizován modul pracující s technologií Bluetooth.

5 REALIZACE ROBOTA

Realizace robotu byla provedena dle rozboru popsaného v kapitolách výše. Blokové schéma robotu ilustruje obrázek Obr. 24 .



Obr. 24 Blokové schéma robotu

Modře vybarvené bloky reprezentují obvodové části robotu a sestávají z více součástí. Zelené šipky pak symbolizují propojení jednotlivých bloků. Motory s inkrementálními snímači jsou pak připojeny na konektorech. Externí modul je samostatná část robotu, kterou lze od robotu oddělit a je také připojena pomocí konektoru. Blíže jsou jednotlivé bloky popsány v dalším textu. Napájení robotu je realizováno z baterie a napájecí obvody, potřebné pro úpravu napětí k jednotlivým blokům včetně externího modulu, jsou také popsány v textu dále.

5.1 Napájení robota

Robot musí být napájen bezpečným napětím do 24V dle pravidel soutěže. Dále pro docílení co nejmenší hmotnosti je třeba volit vhodný typ akumulátoru. Jednotlivé součásti robota pracují se stabilizovaným napětím 5V nebo 3,3V.

5.1.1 Akumulátor

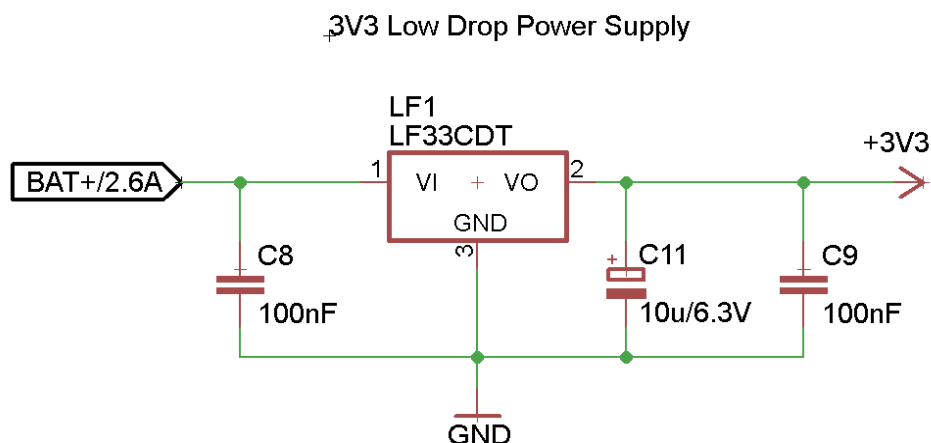
Pro robota byl zvolen akumulátor sestavený z lithium-polymerových článků. Tyto články dosahují napětí 3,7V a mají velice dobrý poměr kapacity vůči váze. Tyto články jsou běžně dostupné a používané například v různých modelářských konstrukcích. Pro robota dostačuje akumulátor sestavený ze dvou sériově zapojených lion-polymerových článků. Dosahuje tedy napětí 7,4V. Konkrétně se jedná o akumulátor značky Hyperion o kapacitě 240mAh. Váha akumulátoru je 23gramů a rozměry jsou 39 x 22 x 21mm. Akumulátor je připojen na konektoru, a dá se z robota snadno odejmout pro potřeby nabíjení, nebo vyměnit za články s větší kapacitou.



Obr. 25 Napájecí akumulátor robota[11]

5.1.2 Napájecí obvody

Součástky použité na robotovi pracují z velké části s napětím 3,3V. Některé ale potřebují napájecí napětí 5V. Proto bylo třeba vytvořit na robotovi dva napájecí obvody. Dále pak pro přesnou funkci analogově-digitálního převodníku v mikrokontroléru, bylo třeba vytvořit zdroj napěťové reference o velikosti 3V. Schéma napájecího obvodu pro jedno z napájecích napětí je na obrázku Obr. 26.

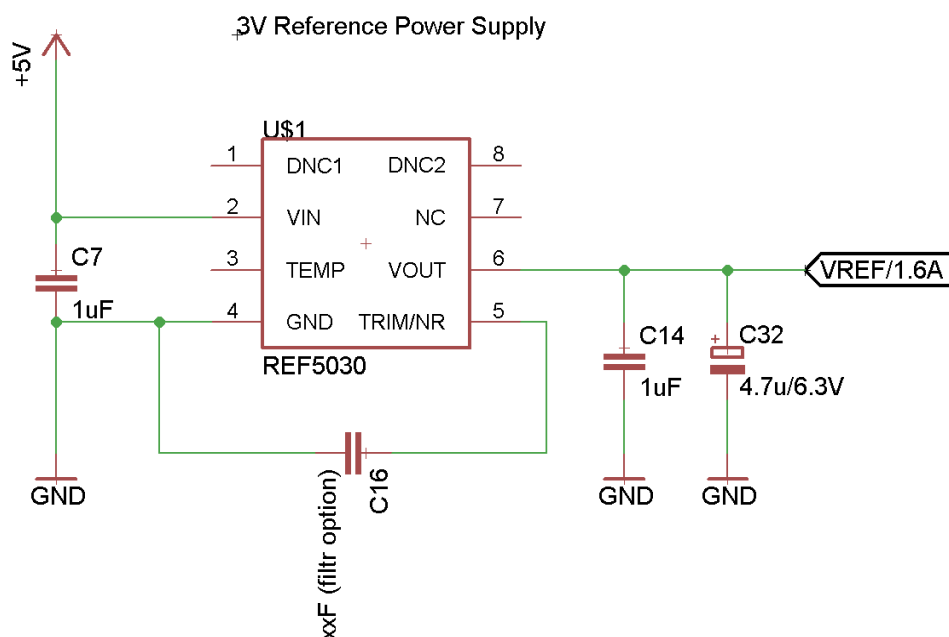


Obr. 26 Napájecí obvod 3,3V

Úprava napětí je realizována zapomocí třínožkového stabilizátoru LF33CDT s nízkým napěťovým úbytkem. K tomuto obvodu je zapotřebí jen minimum součástek pro jeho funkci. Obvod stačí doplnit pouze filtračními kondenzátory. Kapacity jsou voleny dle katalogového listu[12]. Pro napětí 5V byl použit podobný stabilizátor LF50CDT, jeho zapojení je totožné se stabilizátorem popsáném výše.

Oba stabilizátory jsou dimezovány na maximální odebíraný proud 1A, což je pro napájené součástky maximálně dostačující. Vstupní napětí pro oba obvody, je napětí z akumulátoru robota. Toto napájení je přivedeno přes hlavní vypínač, který slouží k zapnutí robota. Celé schéma je přiloženo v příloze 1.

Zdroj přesného referenčního napětí 3V je zapojen dle schématu na obrázku Obr. 27 .



Obr. 27 Zdroj napětíové reference

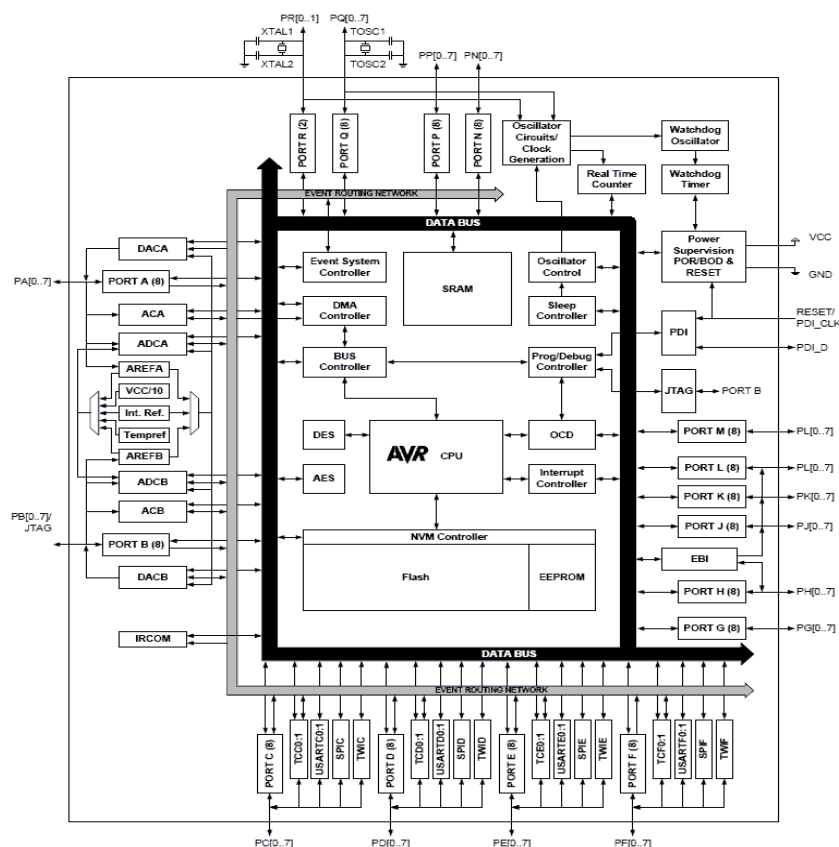
Napětíová reference je realizována integrovaným obvodem pro referenční napětí s označením REF5030. Zapojení je velice jednoduché a je realizováno dle katalogového listu výrobce. Kondenzátor C16 není v konstrukci osazen, ale je ponechán pro možné pozdější doplnění. Tento kondenzátor u obvodu slouží jako filtrace možného rušení. Po ověření funkce analogově-digitálního převodníku, který tuto referenci využívá nebylo třeba tento kondenzátor osazovat. Výpočet kapacity tohoto kondenzátoru závisí na charakteru rušení a je popsán v katalogovém listu výrobce. Obvod referenčního napětí je napájen napětím 5V z napájecího obvodu popsanám výše[13].

5.2 Blok rídícího procesoru

V tomto bloku je realizováno zapojení hlavního řídicího mikrokontroléru s potřebnými součástkami pro jeho funkci. Je zde zahrnuto i rozhraní pro programování procesoru.

5.2.1 Mikrokontrolér Xmega128A1

Jedná se o výkonný mikrokontrolér, který dokáže pracovat s frekvencí až 32MHz. Je vybavený vlastním oscilátorem, nebo je možno připojit externí oscilátor nebo krystal. Pracovní frekvenci lze násobit pomocí vnitřních obvodů a získat tak vyšší rychlost procesoru. Procesor je vybaven 78 vstupně-výstupními porty, které jsou programovatelné. Respektive, většina portů je vybavena sadou periférií, které se na portech dají aktivovat, jako alternativní funkce portů. Novinkou a velice užitečnou funkcí v této řadě procesorů, je takzvaný událostní systém (Event system). Jedná se v podstatě o řízení aplikace za pomoci událostí. Pro takovéto řízení je procesor vybaven osmi událostními kanály, které mohou být řízeny perifériemi, nebo periférie mohou řídit tyto události. Na základě toho pak lze například zajišťovat synchronizaci periférií, nebo jej využívat pro detekci události z vněšku na nějakém portu, jako je například detekce náběžné či sestupné hrany na portu. Implementace tohoto systému je dobře vidět na blokovém schématu procesoru na obrázku Obr. 28. Procesor je dále vybaven čtyřmi DMA (Direct Memory Access), kanály kterými lze přesouvat data. Například mezi perifériemi a pamětí procesoru. Takovýto přímý přístup do paměti, se po nastavení a spuštění DMA kanálu řídí hardwarově a procesor tak paralelně na to může zpracovávat další sekvence naprogramovaného kódu.[14]



Obr. 28 Blokové zapojení procesoru AVR xmega128[14]

5.3 Elektronika pro řízení pohonů

Jelikož jsou pro řízení diferenciálního podvozku robota zapotřebí dva nezávislé pohony pro každé kolo, je elektronika pro řízení pohonu obsažena v robotovi dvakrát. Dále bude popsána pouze pro řízení jednoho kola. Pro druhé kolo je totožná.

5.3.1 Pohon kola

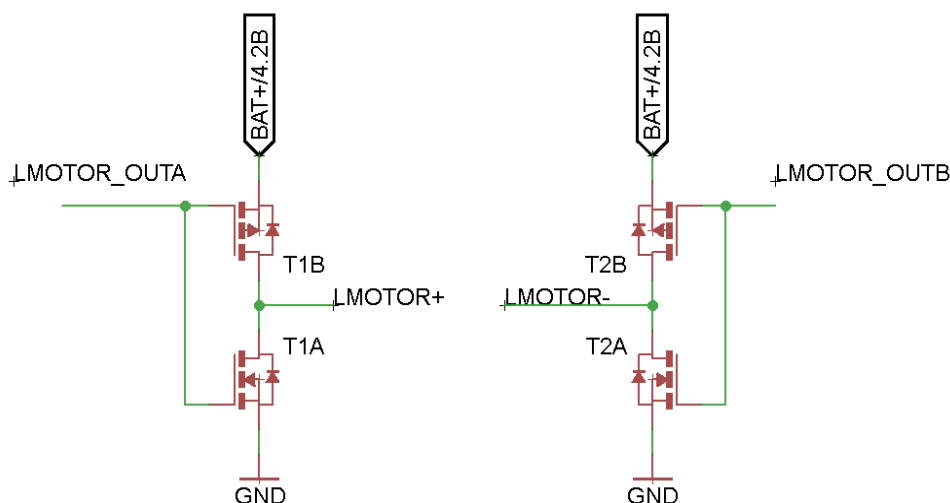
Pro pohon kola byly zvoleny malé kartáčkové motory značky Faulhaber s označením 1717T006S. Motorky mají integrovaný také indukční inkrementální snímač polohy s rozlišením 512 dílků na otáčku. Tyto motorky jsou vhodné svými malými rozměry a pro konstrukce robotů kategorie Micromouse jsou často používány. Některé vlastnosti udávané výrobcem jsou v tabulce Tab.3.

Parametr	Hodnota
Nominální napětí	6 [V]
Maximální výkon	1,96 [W]
Účinnost	69 [%]
Rychlost bez zátěže	14000 [ot./min]
Rozlišení snímače	512 [dílků/ot.]

Tab.3 Tabulka vybraných parametrů motoru Faulhaber 1717T006S

5.3.2 Zapojení H-můstku

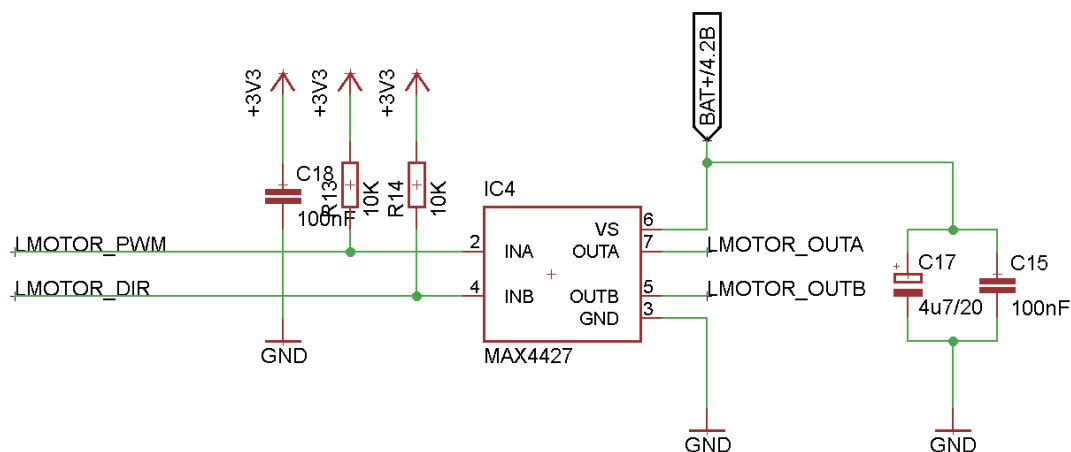
Zapojení H-můstku pro řízení otáček motoru je na orázku Obr. 30 .



Obr. 30 Zapojení H-můstku pro řízení otáček motoru

Zapojení h-můstku sestává z unipolárních tranzistorů MOSFET. Pro zajištění stejných vlastností tranzistorů byly použity integrované obvody ZXMC3A16, které obsahují dvojici komplementárních tranzistorů, jeden s P-kanálem a druhý s N-kanálem[15] . Na obrázku jednu dvojici tvoří tranzistory T1A a T1B a druhou T2A a T2B. Báze dvojic jsou spojeny. Napájecí napětí pro motory je přivedeno přímo z baterie.

Pro rychlé otevírání tranzistorů jsou báze řízeny přes ovladače MOSFET tranzistorů. Zapojení je na obrázku Obr. 31 .



Obr. 31 Zapojení ovladače MOSFET tranzistorů

Obvod MAX4427 obsahuje dva neinvertující operační zesilovače, které za pomoci rychlého vybíjení a nabíjení kapacity C17, spínají báze MOSFET tranzistorů popsaných výše. Vstupem do toho obvodu jsou pak napěťové úrovně logiky řídicího procesoru. Vstupy jsou opatřeny Pull-up rezistory. Napájecí a zároveň výstupní napětí tohoto obvodu je připojeno na napětí z akumulátoru[16].

V tomto zapojení může být motor řízen pouze v motorickém režimu spouštěným v jednom nebo opačném směru otáčení. Funkci popisuje tabulka Tab.4, při určitém nastavení plnění cyklu PWM signálu.

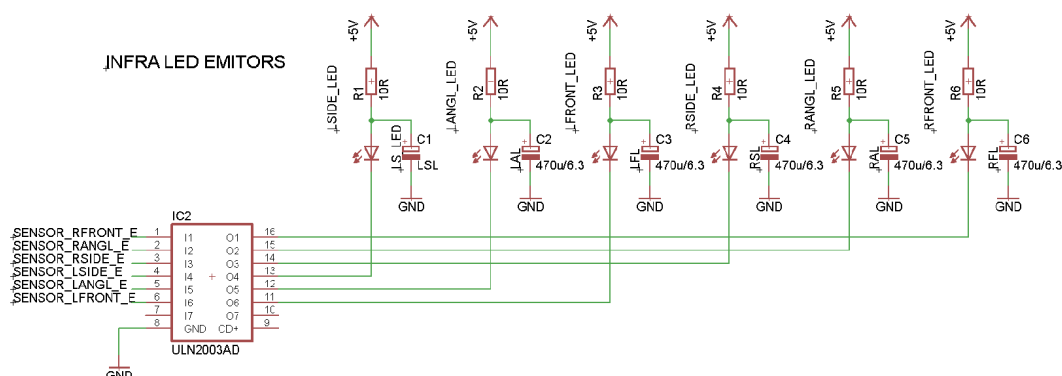
LMOTOR_PWM	LMOTOR_DIR	Směr otáčení
PWM signál	Logická 0	Vpravo
Invertovaný PWM signál	Logická 1	Vlevo
Logická 1	Logická 1	stop
Logická 0	Logická 0	stop

Tab.4 Tabulka funkce H-můstku

5.4 Blok elektroniky optických senzorů

Zapojení senzorů bude popsáno ve dvou částech. V první části zapojení emitorů, tedy obvody pro spínání infračervených diod, a detektorů, tedy fototranzistorů.

5.4.1 Zapojení infračervených diod

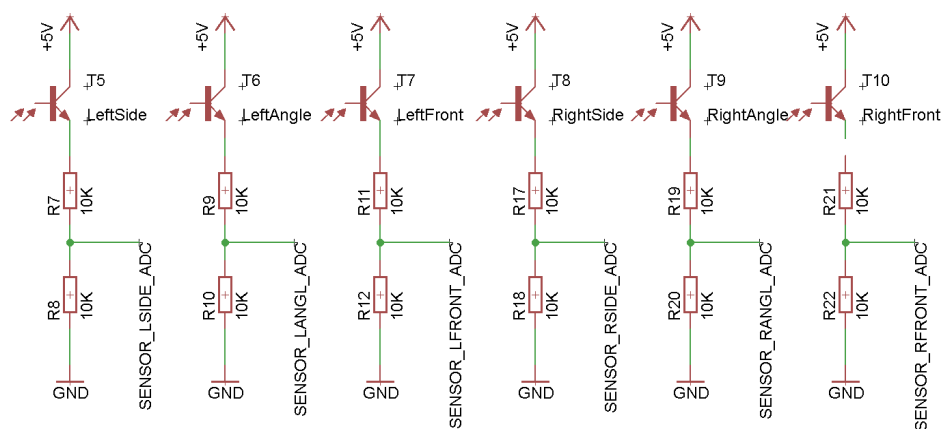


Obr. 32 Zapojení infračervených diod snímačů

Jako emitory byly použity infračervené diody SFH4503 od výrobce OSRAM[17]. Tyto diody emitují světlo přibližně o vlnové délce 950nm. Také mají dost úzký úhel vyzařování. Polovoční úhel udávaný výrobcem, tedy úhel vyzařování od osy směru je $\pm 4^\circ$. Čím užší tento úhel je, tím méně je energie světelného záření rozptýlena do prostoru. Diody snesou maximální proud 1A po dobu 100 μ s. Protože port procesoru by nesl vysoký špičkový proud, který by při zapnutí senzoru portem protekl, musí být spínání realizováno pomocí pole osmi darlingtonových tranzistorů integrovaných v obvodu ULN2003AD[18]. Každý spínaný tranzistor je dimenzován na maximální proud 500mA. Rezistorem, zapojeným sériově s diodou, je proud diodou omezen přibližně na 300mA.

Kondenzátor připojený paralelně na diody se nabije po připojení napájecího napětí na velikost tohoto napětí a je prudce vybíjen přes diodu, při zapnutí senzoru. Tímto přes diodu proteče proudová špička. To se pak projeví napětovou špičkou na detekčních fototranzistorech popsaných níže. Velikost kapacity byla zvolena experimentálně.

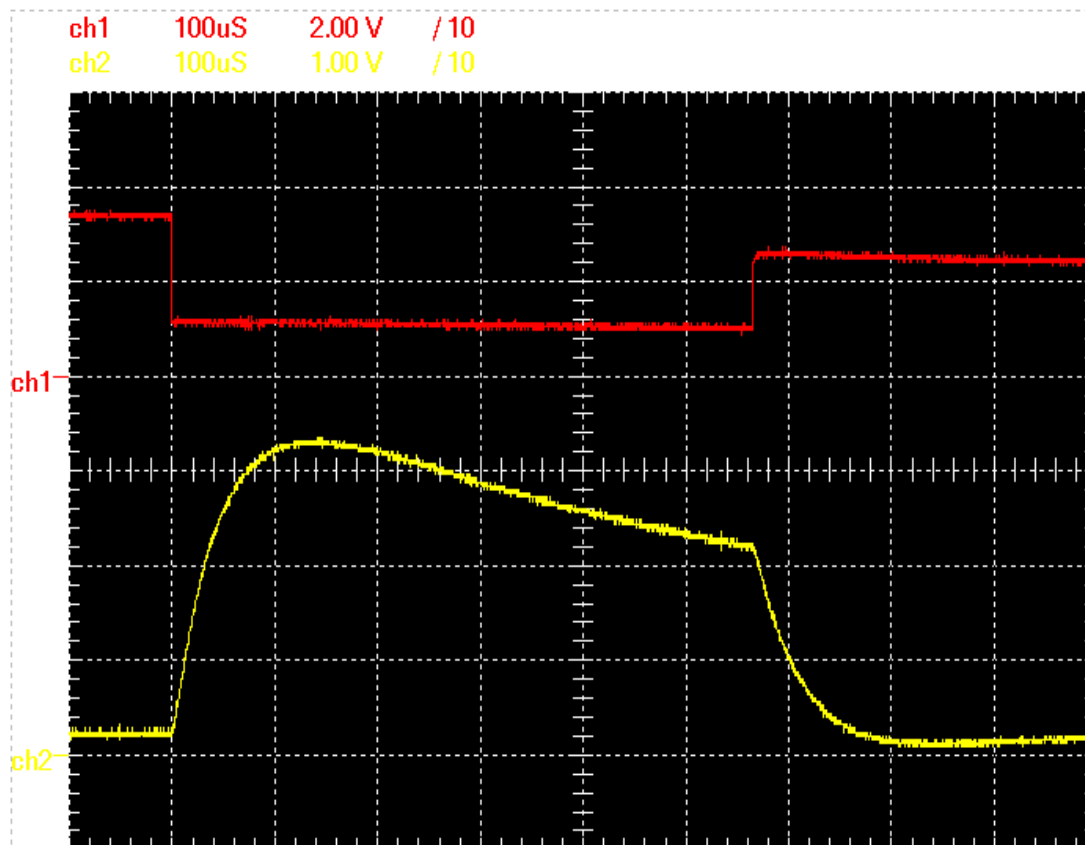
5.4.2 Zapojení detekčních fototranzistorů



Obr. 33 Zapojení detekčních fototranzistorů

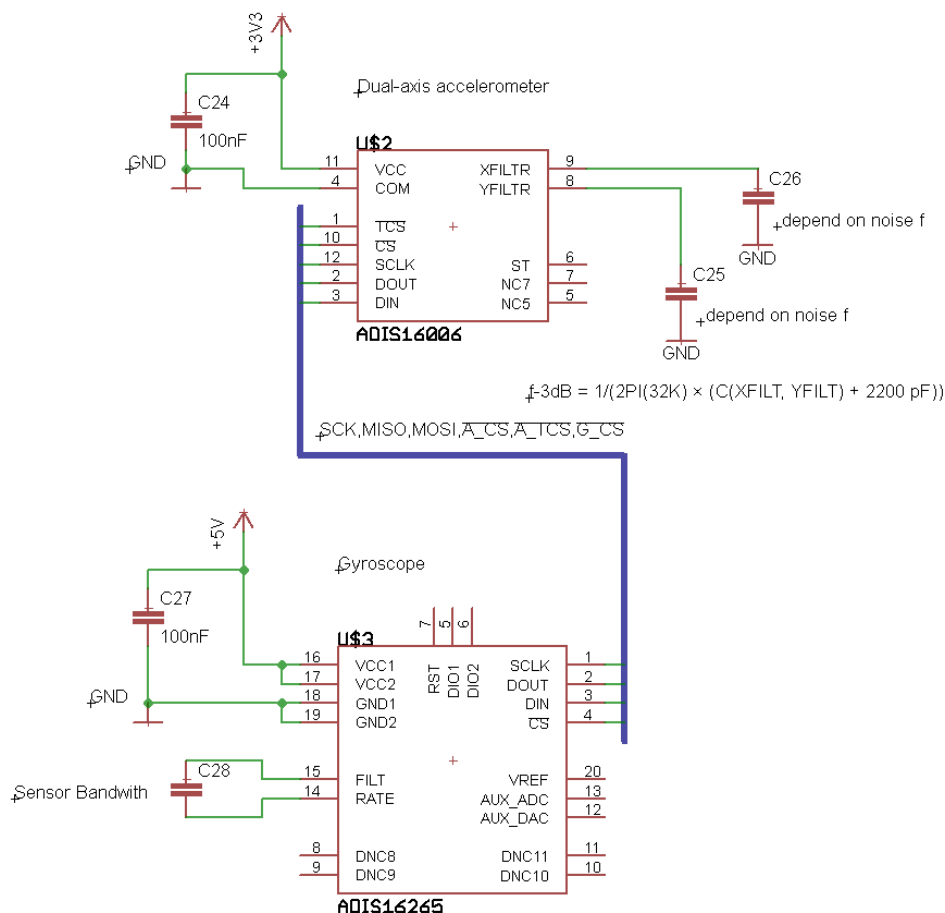
Jako detektory byly použity fototranzistory SFH309 typu NPN, které jsou nejcitlivější v oblasti vlnové délky použitých infračervených diod[19]. Připojené jsou na napájecí napětí 5V. Měření napětí analogově-digitálním převodníkem musí být realizováno přes napěťový dělič, protože maximální možné napětí připojitelné k převodníku je 3V.

Průběh detekovaného napětí na fototranzistoru (žlutá křivka) při zapnutí senzorů (červená křivka) je na obrázku Obr. 34.



Obr. 34 Průběh napětí na fototranzistoru

5.5 Zapojení gyroskopu a akcelerometru



Obr. 35 Zapojení gyroskopu a akcelerometru

Pro robota byly použity prvky od firmy Analog Devices. Gyroskop a akcelerometr jsou součástky, které jsou s minimálním množstvím součástek zapájené přímo na desce plošných spojů robota. Obě tyto součástky poskytují digitální výstup, tedy hodnoty z nich mohou být odečítány přímo v číslicové podobě. Obě pro komunikaci používají sběrnici SPI, kterou disponuje i řídicí procesor[20] [21].

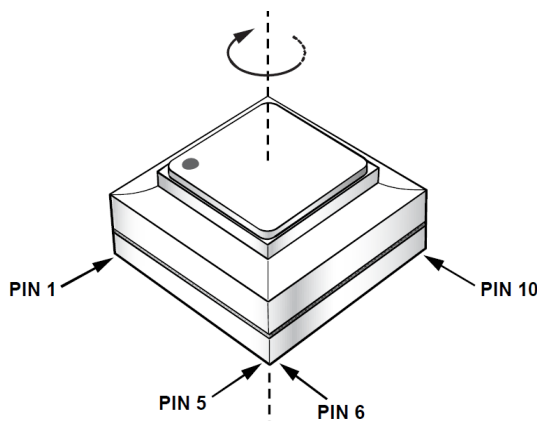
Komunikaci řídí MASTER, což je řídicí procesor a akcelerometr s gyroskopem pracují v režimu SLAVE. MASTER volí s kterým SLAVE, bude komunikovat a zahajuje komunikaci pomocí signálů na pinech A_CS, A_TCS, G_CS. Komunikace je duplexní. A_CS slouží pro zvolení komunikace s akcelerometrem, který pak poskytuje údaj o akceleraci. A_TCS slouží pro získání dat z teplotního senzoru akcelerometru. Zahájení komunikace s gyroskopem se uskutečňuje pomocí G_CS.

Kapacita C28 připojená k gyroskopu není v zapojení osazena a slouží pro možné odbourání rušení pomocí vnitřního filtru gyroskopu. Akcelerometr má podobné možnosti filtrace a to pro každou osu. Nastavení se pak provádí volbou kapacity C25 a C26. Akcelerometr po domluvě s vedoucím práce, nebyl na robot osazen, protože v době vypracovávání této práce nebyl k dispozici.

5.5.1 Gyroskop

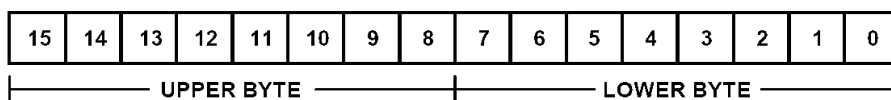
Gyroskop pracuje s napájením napětím 5V, ale jeho vstupně výstupní vývody dokáží zpracovávat i 3,3V logiku. Bylo tedy možné gyroskop připojit přímo k portům řídicího procesoru.

Gyroskop měří natočení ve svislé ose (viz Obr. 36) a to v rozlišních $\pm 80^\circ/\text{sec}$, $\pm 160^\circ/\text{sec}$ nebo $\pm 320^\circ/\text{sec}$.



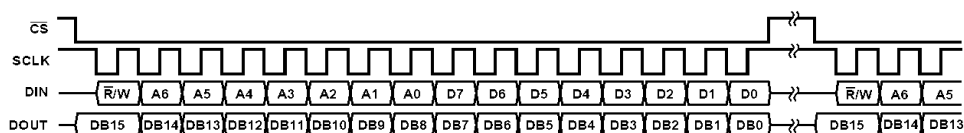
Obr. 36 Orientace měřené osy na součástce[20]

Odečítání hodnot gyroskop umožňuje buďto přes analogové výstupy, nebo přes digitální výstupy, které analogový signál ještě zpracovávají pomocí filtrů a převádějí jej na digitální. Pro jednoduchou konstrukci robota, bylo zvoleno odečítání číselných hodnot. Gyroskop obsahuje 16-ti bitové registry, které lze buďto číst, nebo je nastavovat. Ke čtení nebo zápisu je zapotřebí 16-ti bitová sekvence poslaná gyroskopu. Obrázek Obr. 37 popisuje pořadí dat při komunikaci. Nejdříve je poslán byte s vyšším řádem (Upper Byte) a poté s nižším (Lower Byte).



Obr. 37 Pořadí dat při komunikaci s gyroskopem[20]

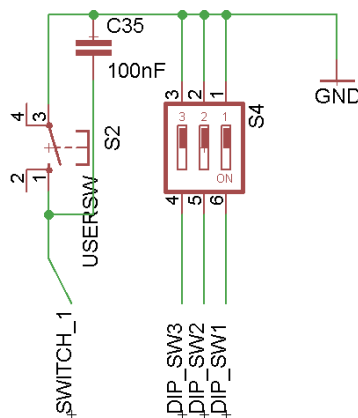
Průběh komunikace je zobrazen na obrázku Obr. 38. První posílaný bit, označený jako R/W, rozhoduje, zda se do určeného registru gyroskopu zapisuje (log 1) nebo jsou z něj požadovány data (log 0). Dalších sedm bitů, pak určují adresu registru a poslední byte pak reprezentuje zapisovaná data. Požadovaná data jsou pak poslána v další sekvenci a jsou 16-ti bitová. Komunikace probíhá duplexně, je tedy možné v další sekvenci poslat gyroskopu další požadavek a zároveň přijímat data požadovaná v předchozí sekvenci[20].



Obr. 38 Komunikace s gyroskopem[20]

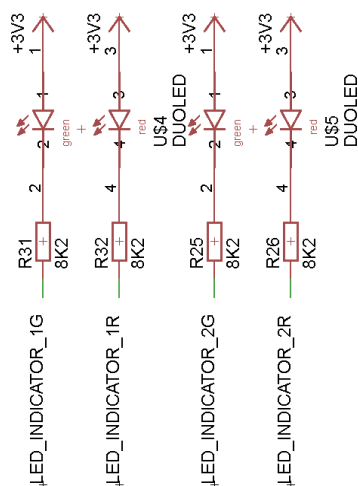
5.6 Ovládací prvky robota

Pro možnost nastavení a přepínání funkcionality robota byl robot vybaven několika ovládacími prvky. Jejich zapojení je na obrázku Obr. 39.



Obr. 39 Ovládací prvky robota

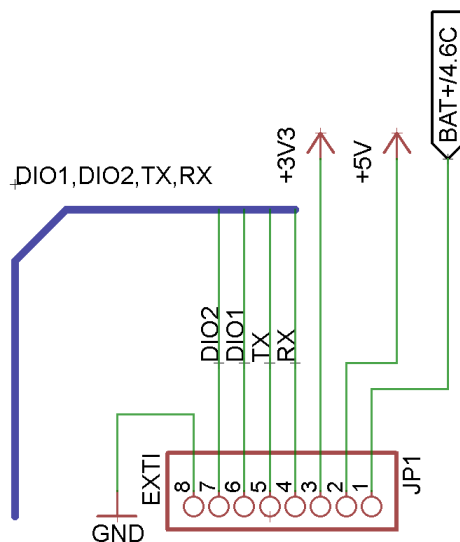
Pro účely aktivace funkce robota je robot vybaven jedním tlačítkem. Kapacita připojená na tlačítko slouží pro odfiltrování zákmitů při stisku tlačítka. Dále byl použit třínásobný miniaturní posuvný přepínač pro nastavení stavu robota. Přepínač může sloužit například pro změnu navigačního algoritmu v průběhu soutěže, jak dovolují pravidla. S tímto přepínačem může tedy software robota odečítat devět různých stavů. Tlačítko i přepínače jsou připojeny přímo na porty mikrokontroléru.



Obr. 40 Indikátory

Pro účely indikace stavu robota, zejména při jeho testování a ladění, byl robot osazen dvojicí dvoubarevných LED diod. Červenou a zelenou. Každá z barev je připojena přímo na port řídicího mikrokontroléru a může být ovládaná zvlášť. Jedna dvoubarevná LED dioda je umístěna vlevo na zadní části a druhá vpravo na zadní části robota. Na ledkách lze například indikovat směry otáčení kol při testování robota.

5.7 Externí modul



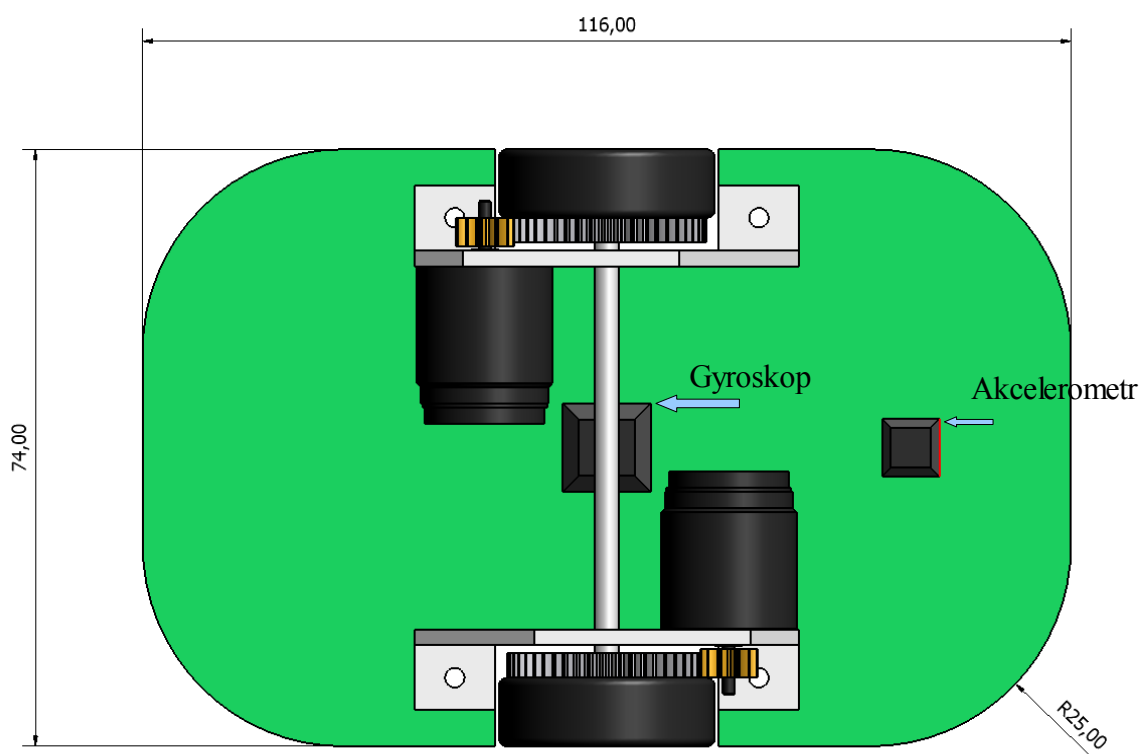
Obr. 41 Připojení externího modulu

Pro připojení externího modulu je robot osazen osmi-pinovým konektorem. Pro komunikaci jsou z řídicího mikrokontroléru vyvedeny komunikační signály sériového řadiče USART obsaženého v mikrokontroléru. Dále pak dva vstupně-výstupní porty. Na konektoru byly vyvedeny také veškeré napájecí napětí robota.

5.8 Návrh desky plošných spojů

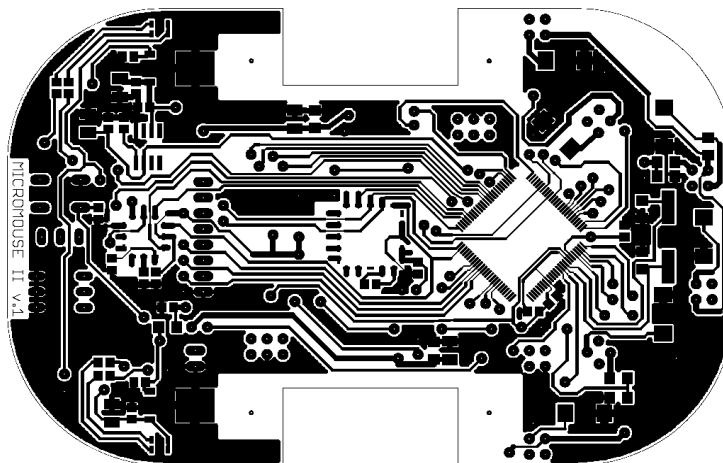
Pro minimalizaci robota bylo třeba veškerou elektroniku vměstnat na jednu desku plošných spojů, která zároveň tvoří tělo robota. Rozměr byl tedy volen s ohledem na podmínky soutěže tak, aby se byl robot schopen pohybovat v bludišti a zároveň, aby deska byla vyrobitelná ve školní laboratoři. Celé zapojení a návrh desky byl proveden pomocí softwaru Eagle, který je ve školní laboratoři k dispozici. Pro minimalizaci zapojení byly pro konstrukci voleny součástky v provedení SMD, určené pro povrchovou montáž. Dále pak byla vytvořena deska pro externí modul. Obě desky obsahují spoje po obou stranách, které jsou propojovány drátovými prokoveny.

Rozměr desky v milimetrech je vyobrazen na obrázku Obr. 44. K desce jsou pak připevněny držáky kol a motorů.

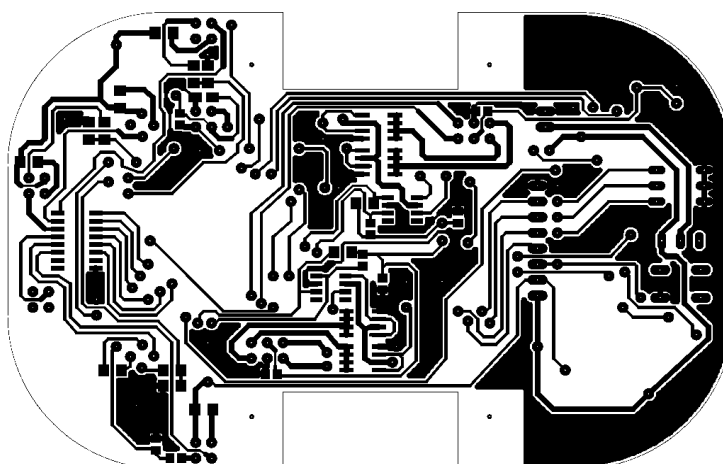


Obr. 44 Rozměr robota

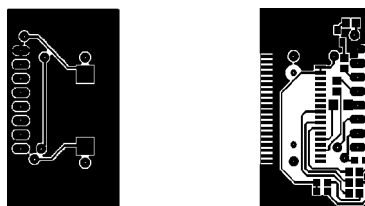
Reliéf spojů desky robota je na obrázku Obr. 45 a Obr. 46 . Deska pro externí modul je pak na obrázku Obr. 47 .



Obr. 45 Vrchní strana desky robota



Obr. 46 Spodní strana desky robota



Obr. 47 Obě strany desky externího modulu

6 OTESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI ROBOTA

Pro otestování funkce robota, bylo realizováno celé zapojení a oživení všech elektrických obvodů robota. S oživováním elektroniky nebyly žádné výrazné problémy, jen při osazování součástek se ukázalo, že gyroskop, který má pouzdro určené pro povrchovou montáž za použití zapékací pece, se pomocí pájecí stanice nesnadno letuje. Po opakovaných pokusech se podařilo i tuto součástku připojit do obvodu.

6.1 Programování robota

Pro otestování všech částí robota byl do robota naprogramován základní program, který obsluhuje veškeré elektrické bloky robota, jak jsou popsány v textu předchozí kapitoly. Dále pak byl naprogramován software pro počítač, kterým lze testovat senzory a ovládat robota. Počítač pak komunikuje s robotem prostřednictvím bezdrátového modulu.

Program byl napsán za pomoci softwarového nástroje volně šiřitelném od výrobce mikrokontrolérů AVR Studio. Použita byla nádstavba pro jazyk C, WinAVR, která je také volně šiřitelná. Jako programátor procesoru byl použit Uni-Prog od českého výrobce PK-design.

Pro ověření funkce modulu pro bezdrátovou komunikaci a získávání dat z robota byl napsán software za pomoci bezplatné verze vývojových nástrojů firmy Microsoft, Visual studio 2008.

6.2 Funkce testovacího softwaru robota

6.2.1 Nastavení komunikace s robotem

Software pro komunikaci s robotem používá sérový port. Při použití bezdrátového modulu je třeba nejprve Bluetooth modul spárovat s počítačem a nainstalovat službu *virtuální sériový port*. Sériová komunikace s robotem je nastavena na rychlost 38400 baudů, 8bitů, 1stop bit a parita žádná. Software má nastavení, kde jdou parametry komunikace případně měnit. Ovšem v bezdrátovém modulu musí být parametry nastaveny napevno a lze je měnit pouze pomocí softwaru od výrobce Bluetooth modulu.

6.2.2 Testování senzorů

Pro měření údajů ze senzorů je v programu mikrokontroléru použit analogově-digitální převodník mikrokontroléru (dále AD převodník), DMA kanál a Event systém.

AD převodník pracuje s maximální frekvencí 2MHz. Při této pracovní frekvenci dosahuje až 2 milióny vzorků za sekundu při použitím rozlišení 8bitů. Software využívá režimu *freerun mode*, kdy po spuštění nepřetržitě vzorkuje v nejkratším možném intervalu. Použitím Event systému, je po konverzi každého vzorku do číslcové podoby vyvolána událost. Tato událost pak spouští DMA kanál, který vzorkovaná data přesunuje z registrů AD převodníku na definované místo v paměti procesoru. Díky této sekvenci, je možné naměřit průběh napětí na fototranzistorech. Navíc použitím DMA kanálu se procesor nemusí zabývat obsluhou AD převodníku a může tak svůj čas využít k jiným výpočtům. sekvence měření ze všech senzorů pak probíhá takto:

1. Nastaví se požadovaný senzor
2. Nastaví se požadované místo pro uložení dat ze senzoru
3. Spustí se časovač, který odměří dobu svícení jedním senzorem
4. Spustí se senzor, sekvence měření aktivací AD převodníku
5. Po doběhnutí doby časovače je vyvoláno přerušení
6. V obsluze přerušení se senzor vypne a zastaví se měření
7. Pokud nebyly odměřeny všechny senzory pokračuje se krokem 1 pro další senzor.
8. Naměřená data jsou zpracována a odeslána pomocí externího modulu

Jakmile jsou data ze senzorů naměřena a uložena v paměti mohou se odeslat nebo dále zpracovat. Z experimentálních měření vyplynulo, že při blízkých překážkách se fotoranzistor dostává rychle do saturace a náběžná hrana signálu se blíží přímkce a její sklon je závislý na vzdálenosti. Při aproximaci několika hodnot, které tvoří tuto křivku, přímkou, je tedy vzdálenost závislá na směrnici této přímky. Dále pak pro větší vzdálenosti se průběh podobá logaritmické funkci. Na základě tohoto zjištění byl v softwaru naprogramován algoritmus pro regresi funkce pomocí metody nejmenších čtverců.

Rovnice přímky je popsána vzorcem Rov.11 a rovnice logaritmické křivky pak vzorcem Rov.12.

$$y = A \cdot x + B$$

Rov.11

$$y = A \cdot \ln(x) + B$$

Rov.12

Pro určení směrnice těchto křivek stačí zjistit koeficienty A. Pomocí metody nejmenších čtverců je pak výpočet směrnice přímky dle vzorce Rov.13 a logaritmické funkce dle vzorce Rov.14, kde n je počet prokládaných hodnot, y_i jsou hodnoty prokládané funkce v bodech x_i . Index i je index bodu funkce.

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Rov.13

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln(x_i) y_i - \left(\sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i))^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right)^2}$$

Rov.14

Uvažujeme-li, že při měření bude mít první odměřená hodnota index 1 a hodnoty jsou měřeny v konstantních časových přírůstcích, pak můžeme index i ztotožnit s x_i a zjednodušit tak vorce. Dále při konstantním počtu prokládaných hodnot n , se rovnice mohou přepsat na tvary uvedené v rovnicích Rov.15 a Rov.16, kde p a q jsou konstanty a mohou být tedy pro rychlejší zpracování procesorem předpočítány, například při inicializaci programu.

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n i y_i - p \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{q - p^2}, \text{ kde } p = \sum_{i=1}^n i^2, q = n \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2$$

Rov.15

$$A = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln(i) y_i - p \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{q - p^2}, \text{ kde } p = \sum_{i=1}^n \ln(i)^2, q = n \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2$$

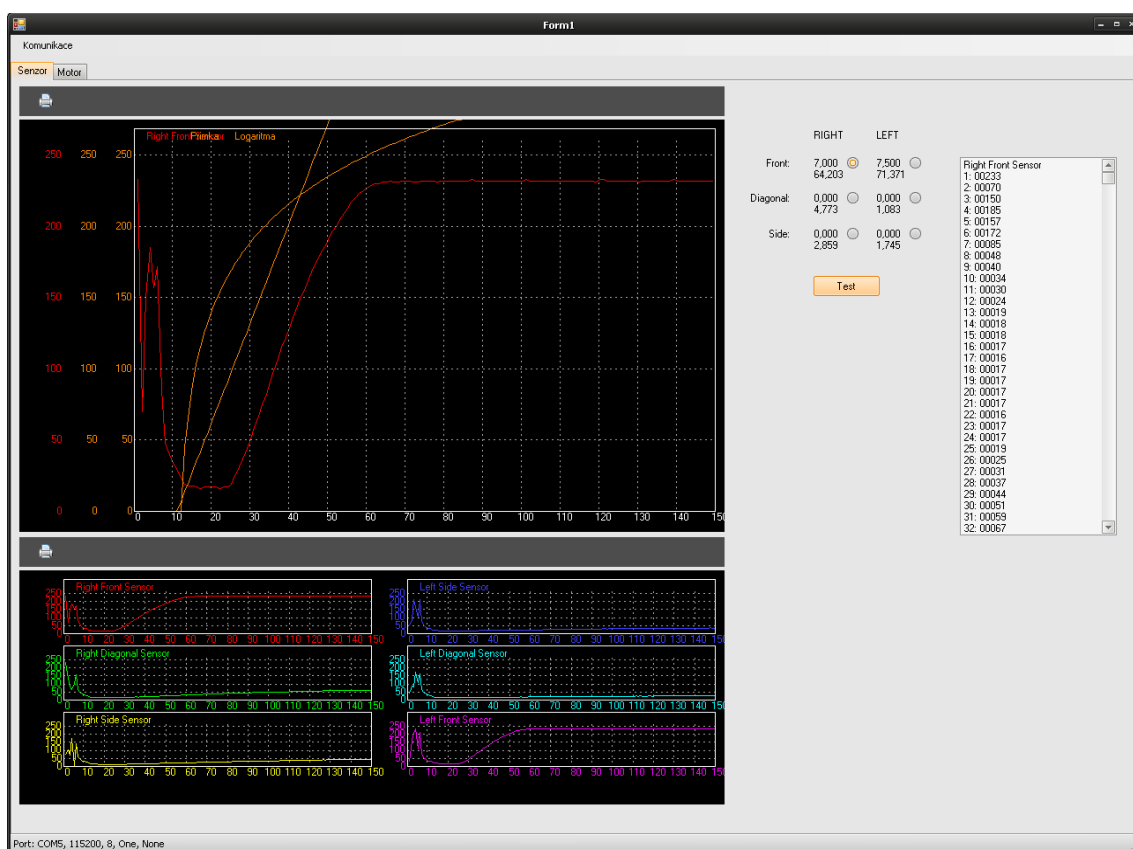
Rov.16

Výpočet logaritmu $\ln(i)$, pak může být realizován tabulkou, pro hodnoty $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$. Výpočet směrnice z naměřených dat se tím zjednoduší na výpočet za použití jednoho cyklu s daným počtem opakování od 1 do n . V cyklu jsou pak použity pouze základní aritmetické operace sčítání a násobení.

Algoritmus výpočtu směrnice, by se dal pak zapsat takto:

```
for (i = 1; i<=n; i++)
{
    log = log + TabulkaHodnotLn[i]*TabulkaDat[i]; // pro rovnici logaritmické funkce
    lin = lin + i*TabulkaDat[i]; // pro rovnici přímky
    s = s + TabulkaDat[i];
}
A_log = (n * log - p*s)/(q - p*p)
A_lin = (n * lin - p*s)/(q - p*p)
```

Pro účely testování jsou naměřená a vypočtená data odesílána pomocí bezdrátového modulu do počítače, kde je testovací software zobrazí do grafů. Za pomoci tohoto softwaru lze sekvenci snímání libovolně spustit tlačítkem *TEST*. Testování senzorů se aktivuje záložkou *Senzor*.

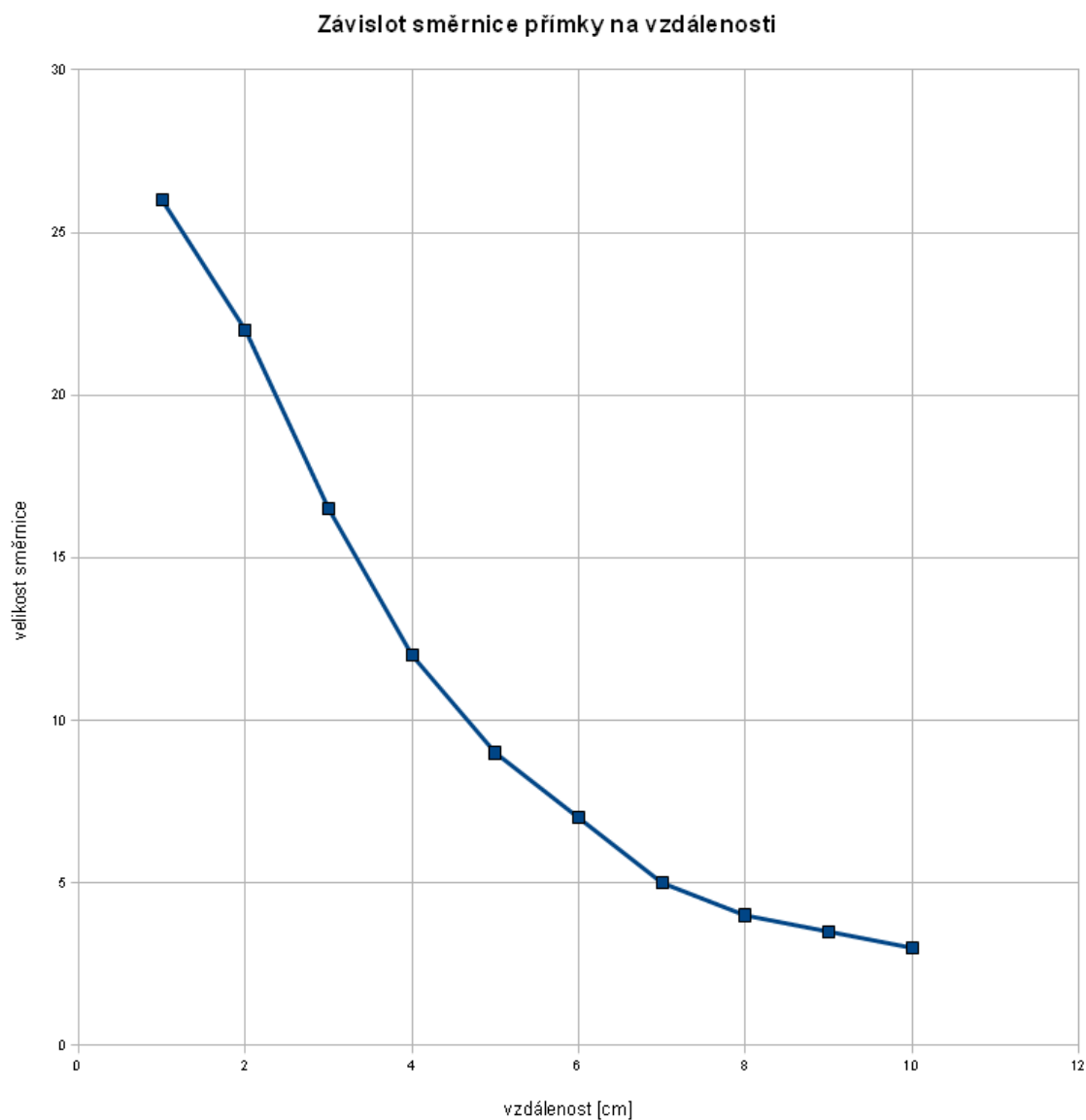


Obr. 48 Program pro testování senzorů

Na obrázku Obr. 47 je ukázka z programu pro testování senzorů. V levé spodní části jsou data zobrazena v grafech ze všech senzorů. V největším grafu je zobrazen detail jednoho vybraného senzoru spolu s vykreslenými funkcemi dle směrnice. V pravé části je ovládání, kterým se dá zvolit senzor na který se chceme podívat blíže. Dále je zde list všech odměřených hodnot tak, jak je robot odeslal. Jak je vidět na obrázku, prvních asi 12 hodnot měření je nepoužitelných. Zřejmě je to způsobeno ustalováním AD převodníku při prvních měřeních. Měření prvních 25ti hodnot je zahájeno ještě před spuštěním senzoru.

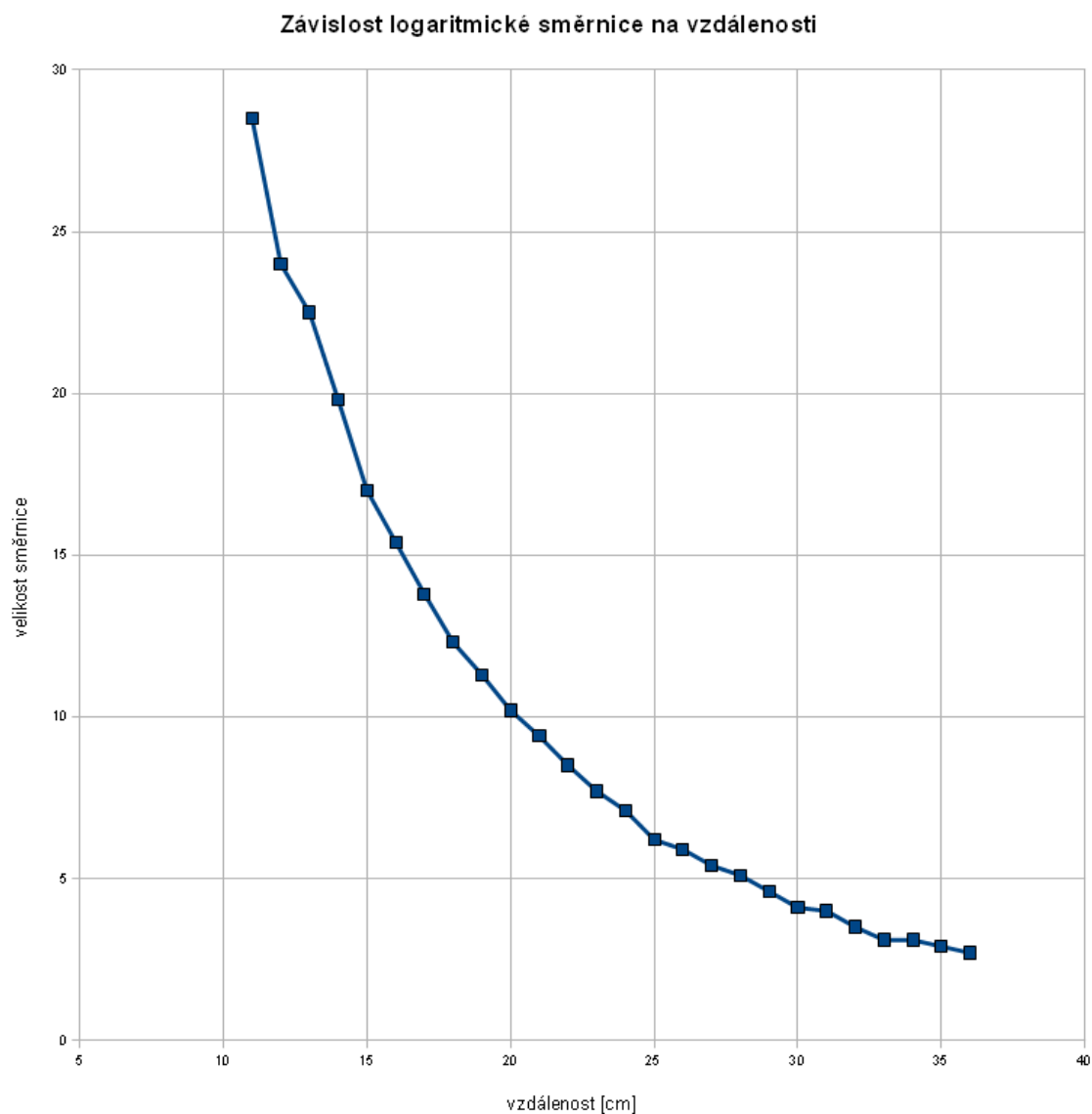
Pro ověření funkce zpracování dat byly naměřeny závislosti počítaných směrnice na vzdálenosti. Nastavení výpočtu bylo provedeno experimentálně.

Lineární směrnice je počítána od 25. hodnoty a počítá se třemi následujícími vzorky. Bylo zjištěno že použitím tohoto proložení je možno měřit v rozsahu vzdálenost 0 až 10 cm. Naměřená závislost je zobrazena v grafu na obrázku Obr. 49 .



Obr. 49 Závislost lineární směrnice na vzdálenosti

Použití logaritmické regrese se ukázalo jako vhodné při použití naměřených dat od 25. hodnoty s použitím 50 vzorků. Takto se dá použít senzor v rozsahu vzdáleností od 11 do přibližně 36 cm. Naměřená závislost je zobrazena v grafu na obrázku Obr. 50.



Obr. 50 Závislost logaritmické směrnice na vzdálenosti

6.2.3 Testování pohonů a gyroskopu

Při aktivaci záložky *motor*, program reaguje na klávesy *A*, *W*, *S* a *D*. Tyto klávesy tvoří základní ovládací kříž pro pohyb robota. Stisk klávesy *W* aktivuje pohyb robota vpřed a robot se pohybuje tak dlouho dokud je klávesa stisknuta. Klávesa *S* pak aktivuje pohyb vzad. Při stisku kláves *A* a *D* se robot začne otáčet vpravo nebo vlevo.

Při pohybu robota jsou z něj posílány údaje o úhlové rychlosti a natočení robota z gyroskopu.

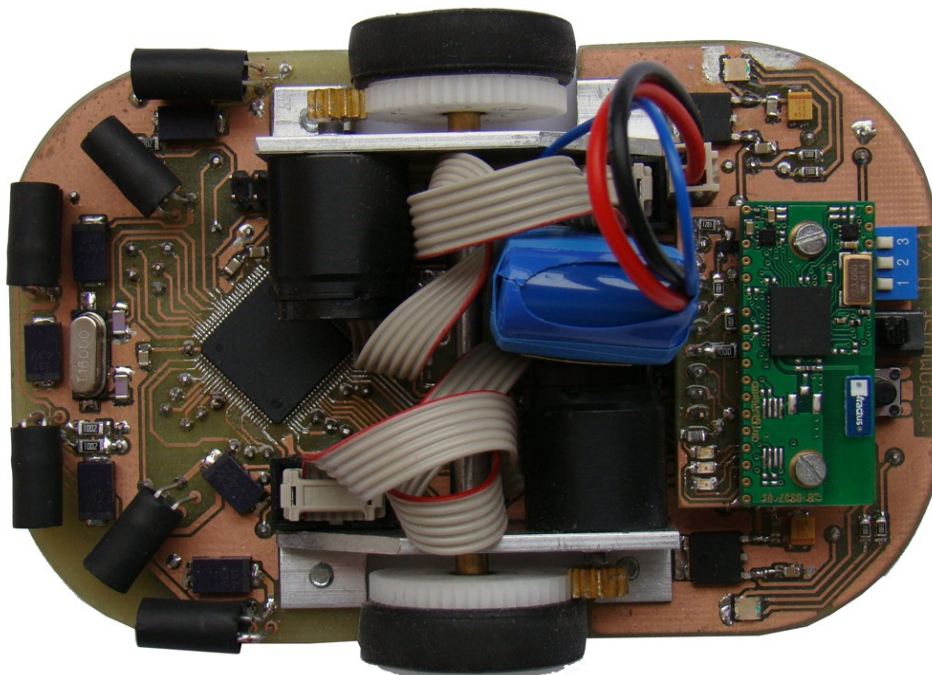
6.3 Parametry robota

Parametry jsou přehledně zobrazeny v tabulce Tab.5.

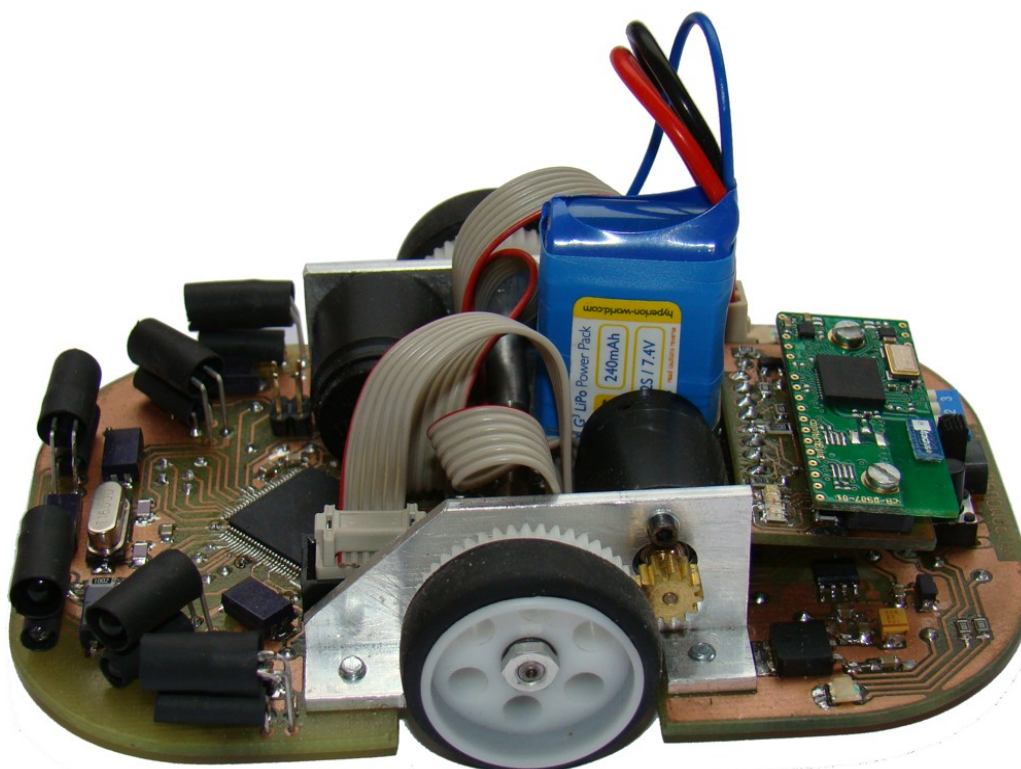
Parametr	Hodnota
Podvozek	Diferenciální podvozek
	Dvě hnaná kola
	Dvě podpěry
Pohony	2x stejnosměrný motor Faulhaber 1717T006S s indukčními intrumentálními snímači s přesností 512 dílků/otáčku
Senzory	6x optický senzor tvořený dvojicí IR-diody a fototranzistor
	Gyroskop ADIS16265
	Akcelerometr ADIS16006
Napájení	1x akumulátor LiPol Hyperion G3 CX - 2S 240mAh (25C)/7,4V
Komunikace	RS232, 38400Bd
	Externí BlueTooth modul pro sériovou komunikaci
Délka	116mm
Šířka	78mm
Výška	27mm
Rozteč kol	78mm
Hmotnost	136g

Tab.5 Tabulka parametrů robota Micromouse II

Fotografie robota jsou na obrázcích Obr. 51 a Obr. 52 .



Obr. 51 Vrchní pohled



Obr. 52 Boční pohled

7 ZÁVĚR

K navržení nové konstrukce robota Micromouse II bylo třeba nejdříve se seznámit se stávající konstrukcí robota Micromouse I a také s jinými úspěšnými konstrukcemi robotů kategorie IEEE Micromouse. Dále pak prostudovat pravidla soutěže, aby robot splňoval její požadavky. Pro zjednodušení konstrukce bylo zvoleno zapojení s jedním řídícím mikrokontrolérem. Dalé bylo třeba zvolit vhodné malé pohony a vylepšit optické senzory pro měření vzdálenosti. Robot byl také doplněn senzory, jako jsou gyroskop a akcelerometr.

Pro návrh elektroniky bylo třeba využít znalosti elektrotechniky, zvolit vhodné součástky a vytvořit tak elektrické zapojení jednotlivých částí robota. Některé tyto obvody, jako například optické senzory nebo řízení pohonu bylo otestováno dopředu na funkčních vzorcích. Pro použití těchto částí bylo třeba se také seznámit s principy řízení pohonů a použitých senzorů.

Elektronika robota byla realizována a otestována. Zejména jsem se zaměřil na možné použití optických senzorů a zpracování měřených dat. Po sestavení robota byl do robota naprogramován testovací software a spolu s tím vznikl i program na počítač který slouží pro ověření funkcionality veškerých částí robota. K programování bylo zapotřebí znalostí programování v jazyce C, principy programování a znalost architektury jednočipových mikrokontrolérů. Program pro počítač byl napsán v jazyce C#. Cíle práce se tímto podařilo splnit.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Micromouse Competition Rules. [PDFdokument]. 2007,
Dostupné z WWW: <http://www.ieee.uc.edu/main/files/sac2007/mm_rules.pdf>.
- [2] Domovská stránka ROBOTIKA.SK [online].
Dostupné na WWW: <<http://www.robotika.sk>>
- [3] PASEKA, Tomáš. *Návrh a realizace autonomního robou pro kategorii IEEE Micromouse*. Brno, 2006. 87 s. Diplomová práce. UAI, VUT v Brně.
- [4] Domovská stránka MICROMOUSEONLINE [online].
Dostupné z WWW: <<http://www.micromouseonline.com>>
- [5] NG BENG, Kiat. [online]. Domovská stránka
Dostupné z WWW: <<http://www.np.edu.sg/alpha/nbk/>>.
- [6] Doc. Ing. ŠOLC, CSc., František; Ing. ŽALUD Ph.D., Luděk. *Robotika* [PDFdokument]. Brno, 1.10.2002 [cit. 2011-05-24].
- [7] WINKLER, Zbyněk. Odometrie. *Robotika* [online]. 12.5.2005, 1, [cit. 2011-05-24].
Dostupný z WWW: <<http://robotika.cz/guide/odometry/cs>>.
- [8] Prof. Ing. Skalický, CSc., Jiří. *Elektrické servopohony* [Skriptum]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2001, 88 s.
- [9] DR. WILCOX, A.J. Wall sensors design test [online]
Dostupný na WWW: <<http://www.micromouseonline.com>>
- [10] VOJÁČEK, Antonín. *Jonatan.spse.pilsedu.cz* [online]. [cit. 2011-05-24].
Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS.
Dostupné z WWW: <<http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/gyroskopy.htm>>.
- [11] Domovská stránka firmy Hyperion. [online].
Dostupné z WWW: <<http://www.hyperion-world.com/>>.
- [12] LF33CDT. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/2574.pdf>>.
- [13] REF5030. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/ref5030.html>>
- [14] Xmega128A1. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8067.pdf>
- [15] ZXMC3A16DN8. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW: <http://diodes.com/zetex/_pdfs/3.0/pdf/ZXMC3A16DN8.pdf>

- [16]MAX4427. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:<<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/1487>>
- [17]SFH4503. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:<<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=SFH4503>>
- [18]ULN2003AD. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/U/L/N/2/ULN2003AD.shtml>
- [19]SFH309. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/S/F/H/3/SFH309.shtml>
- [20]ADIS16265. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:
<http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16260_16265.pdf>
- [21]ADIS16006. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:
<http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16006.pdf>
- [22]OEMSPA310. *Datasheet* [online].
Dostupný z WWW:<http://www.spezial.cz/pdf/em_ds_oemspa_310.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

IR (infra red) – infračervené

LED (light emitting diode) – světelná dioda

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) - mikroskopický mechanickoelektrický systém

DMA (direct memory access) – přímý přístup do paměti

SMD (surface mounted device) – soušáska pro povrchovou montáž

AD převodník – analogově digitální převodník

Bit – jednotka informace

Byte – množství dat, obsahuje osm bitů

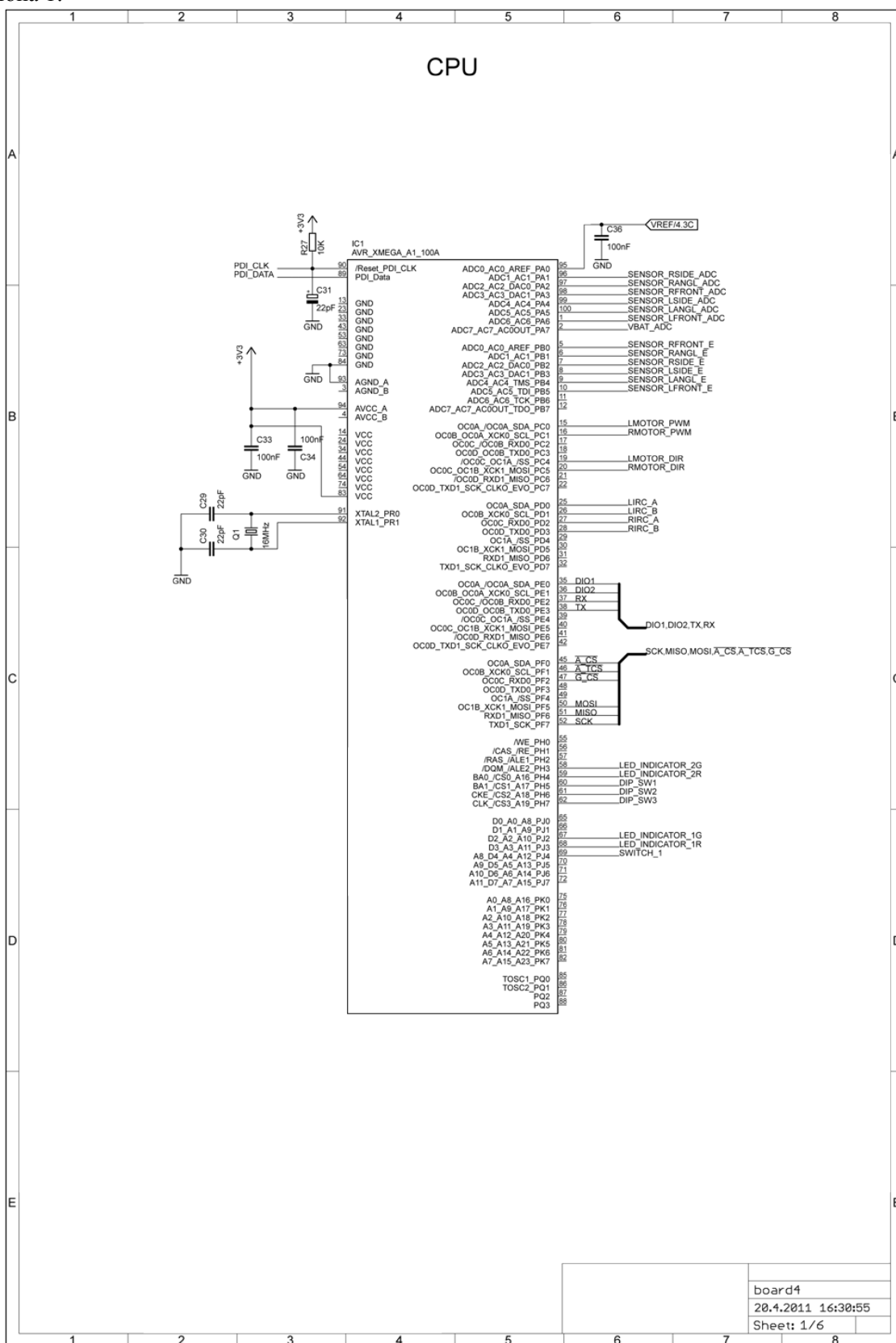
SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1: Schéma robota

Příloha 2: Desky plošných spojů

PŘÍLOHY:

Příloha 1:



Motor Drivers

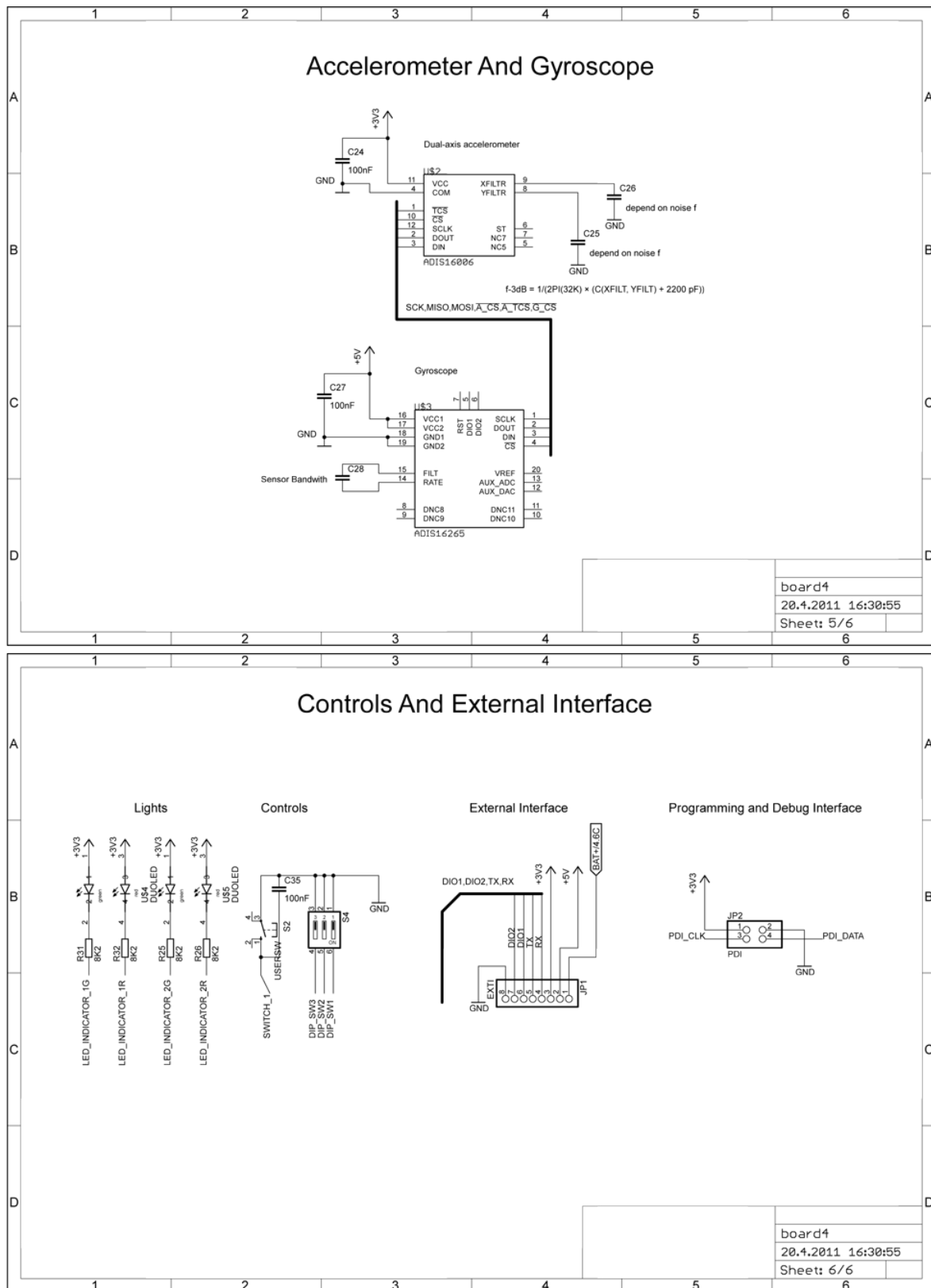
The Motor Drivers section shows two identical driver circuits for the LEFT_MOTOR and RIGHT_MOTOR. Each circuit uses a MAX4427 IC. The inputs are LMOTOR_PWM and LMOTOR_DIR for the left motor, and RMOTOR_PWM and RMOTOR_DIR for the right motor. The outputs are LMOTOR_OUTA, LMOTOR_OUTB and RMOTOR_OUTA, RMOTOR_OUTB. The ICs are powered by +3V3 and GND. The output MOSFETs are T1A, T1B for the left motor and T3A, T3B for the right motor. The motor connections are LMOTOR+, LMOTOR- and RMOTOR+, RMOTOR-. The schematic also shows the connection to the battery (BAT+4.2B) and various capacitors (C15, C17, C21, C22) and resistors (R14, R16, R18, R20).

Distance Sensors

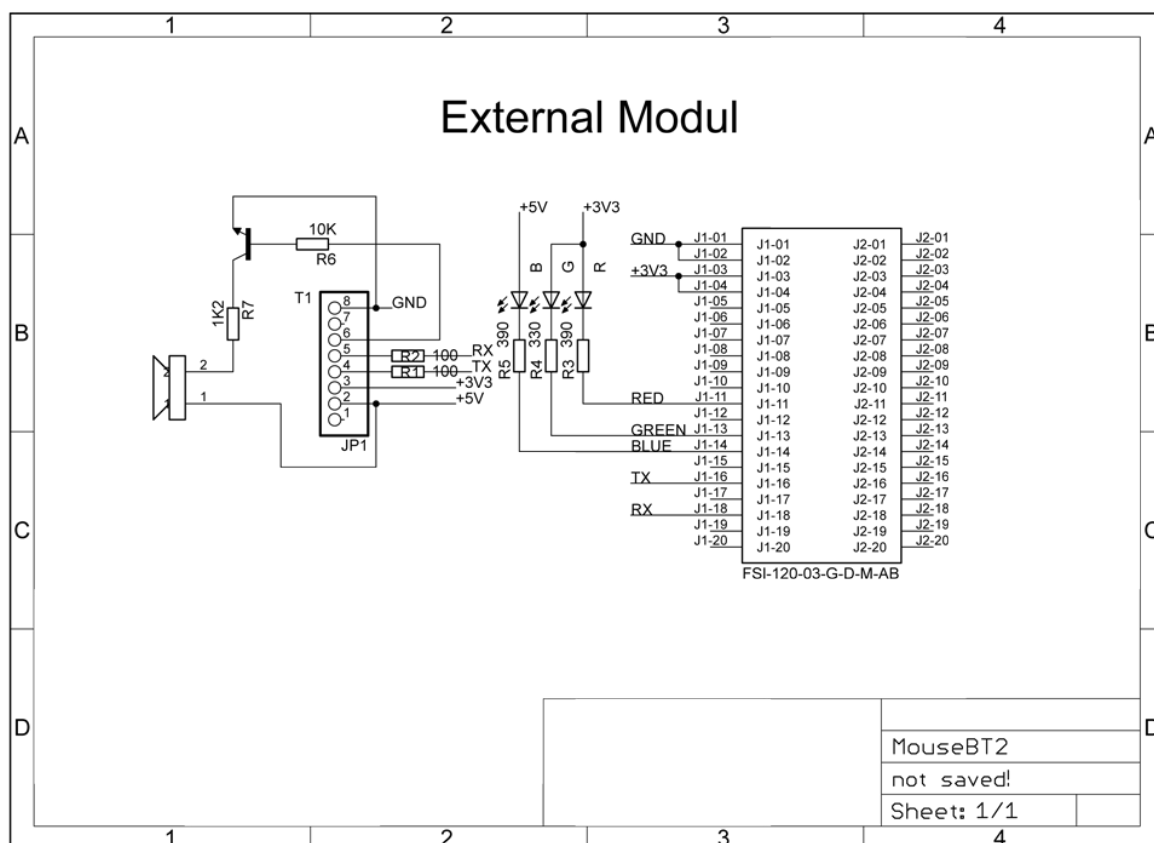
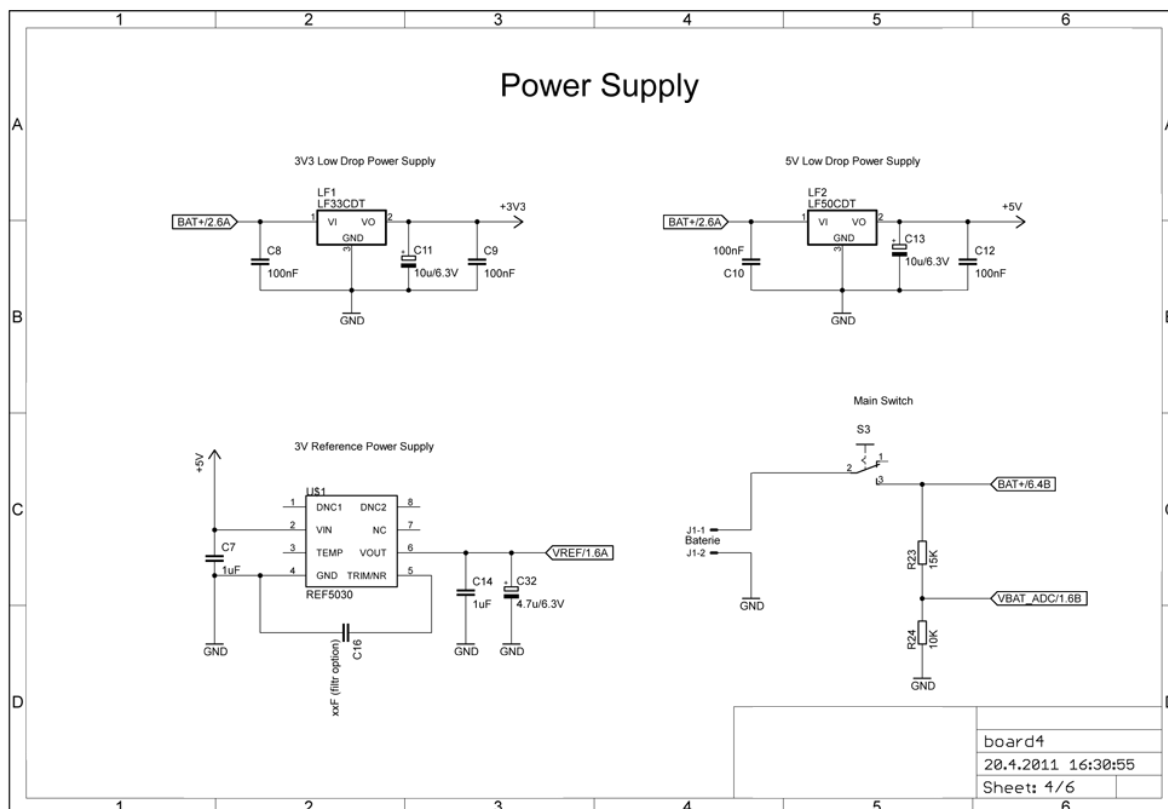
The Distance Sensors section shows six infrared LED emitters (LSIDE_LED, LANGL_LED, LFRONT_LED, RSIDE_LED, RANGL_LED, RFRONT_LED) and six phototransistors (LSIDE_FT, LANGL_FT, LFRONT_FT, RSIDE_FT, RANGL_FT, RFRONT_FT). The emitters are connected to the ULN2003AD IC (IC2) through resistors (R1, R2, R3, R4, R5, R6) and capacitors (C1, C2, C3, C4, C5, C6). The phototransistors are connected to the ULN2003AD IC through resistors (R7, R8, R9, R10, R11, R12, R17, R18, R19, R20, R21, R22). The ULN2003AD IC is powered by +5V and GND. The output signals are SENSOR_LSIDE_ADC, SENSOR_LANGL_ADC, SENSOR_LFRONT_ADC, SENSOR_RSIDE_ADC, SENSOR_RANGL_ADC, and SENSOR_RFRONT_ADC.

board4	
20.4.2011 16:30:55	
Sheet: 2/6	

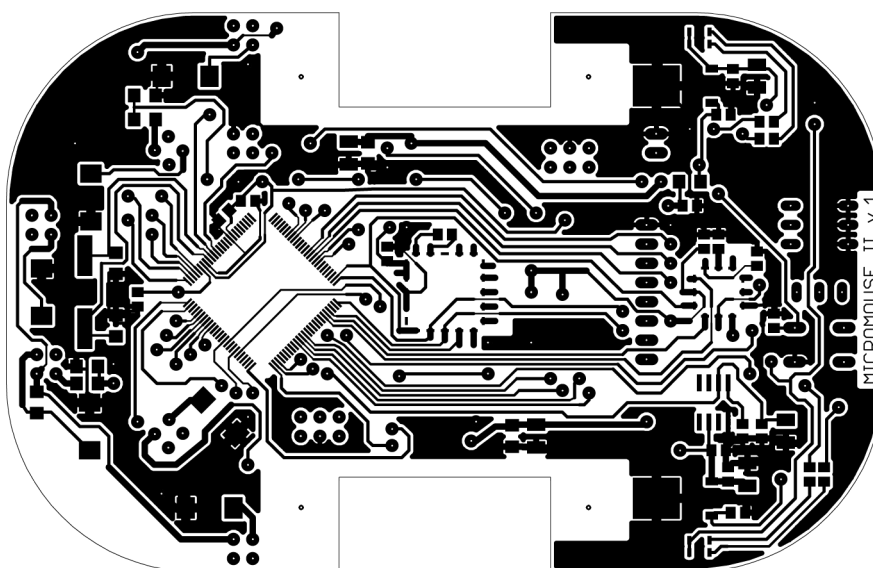
Příloha 1:



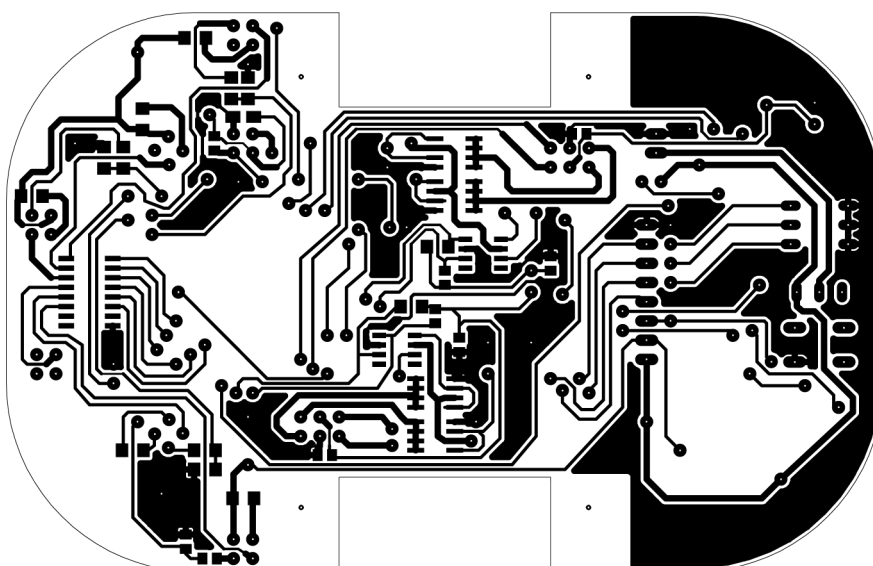
Příloha 1:



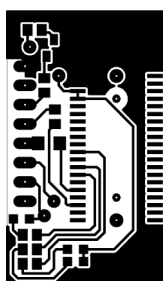
Příloha 2:



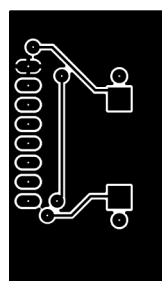
Vrchní strana desky 1:1



Spodní strana desky 1:1



Vrchní strana desky 1:1



Spodní strana desky 1:1